

旭川天文同好会会報

旭天



幻日環・内暈・外接ハロ

撮影 : 近藤 祐司
日時 : 2022年4月29日 午前9時頃
場所 : 旭川市科学館 屋上 天文台
カメラ : SONY α 7R II
レンズ : SIGMA 8mm 全周魚眼
露出 : 1/3200秒 ISO 100

2024

Vol. 22

旭川天文同好会会報 旭天 Vol. 22

2024

Vol. 22

目 次

1	会報「旭天 Vol. 22」の発刊にあたり	会長	富 樫 一 憲	1
2	北海道教育大学における教員養成と天文教育	北海道教育大学旭川校	関 口 朋 彦	2
3	高等学校「地学基礎」における天文分野の学習内容の削減	…	富 田 一 茂	8
4	超新星・新星等の発見と測光観測について			
	北海道大学大学院理学研究院宇宙観測基礎データセンター研究員		佐 野 康 男	10
5	火星衛星探査前夜 ～私たちはなぜ火星の衛星に向かうのか～			
	北海道大学理学研究院地球惑星科学部門・旭川市科学館特別学芸員		松 岡 亮	19
6	ウポポイ天文台の建設	札幌天文同好会	柴 田 健 一	39
7	ウポポイ天文台その後	札幌天文同好会	柴 田 健 一	41
8	太陽活動と気温の変化について		加 藤 雅 彦	43
9	旭川北高校における太陽観測		富 田 一 茂	45
10	美瑛町郷土学館		荒 明 慎 久	47
11	NHK番組「北海道道」取材		石 川 清 弘	50
12	キューサー3C279からのジェットで観測される超光速運動	…	富 樫 一 憲	51
13	旭川におけるオーロラ観測		伊 藤 正 光	55
14	星と私と ～私が星を好きになった理由～		高 橋 美 晴	58
15	サイパル屋上での小惑星の測光観測		白 杵 朱 莉	61
16	星雲星団のテレビウォッチング		中 西 要 成	69
17	442年振りの月食（月食中に月が天王星を隠す）		柴 田 健 一	73
18	ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡&ミニギャラリー		富 樫 一 憲	74
19	経度0°への旅 ～グリニッジを目指せ！ ついでにパブでビールを～		加 藤 雅 彦	79
20	テーゼウスの星 –ギリシャ追想録–		畠 野 麻衣子	84
21	プラネタリウム聖地巡礼の旅		齊 藤 美 和	96
22	オーストラリア星空リベンジ ～めざせエアーズロック～		加 藤 雅 彦	101
23	ブラタモリ#118 富良野・美瑛に出演しました		槇 納 智 裕	106
24	R35GTR		石 川 清 弘	113
25	星の教室「宇宙を支配するダークマターとダークエネルギー」を解説して		富 樫 一 憲	120
26	はやぶさ2実物大模型製作にあたって		近 藤 祐 司	134
27	令和5年度・令和6年度 活動報告			143
28	旭川天文同好会 会則			144
29	令和6年度 旭川天文同好会 会員名簿			145
	編集後記	編集担当(事務局長)	近 藤 祐 司	

会報「旭天 Vol.22」の発刊にあたり

会長 富 樫 一 憲

旭川天文同好会会員や寄稿していただいた皆さんのお力添えにより、会報「旭天 Vol.22」が発刊されますことを大変嬉しく思っています。

本会の会報は、昭和25年に「天文会報」として発刊されたのが最初で、その後昭和57年に名称を「旭天」と改称。その間、いく度かの休刊を経て、今回の「旭天Vol.22」発刊に至りました。名称が「旭天」と変わって第22号目に当たります。

会報の発刊については、当初からあまり無理をせず原稿が集約した頃に発刊する。そのため、毎年ではなく数年程度間隔を空けることにし、今回は6年振りの発刊になります。

ここで、宇宙の話題に目を向けますと、近年の観測技術の飛躍的な向上と絶妙な方法により、宇宙物理学の進歩には目覚ましいものがあります。

その例として、①連星ブラックホール（以下BH）の合体による重力波の初観測、②天の川銀河中心の超巨大BH「いて座A★」の存在実証、③M87銀河中心の巨大BHの撮影成功、④太陽系外惑星（第2の地球）の発見等があげられます。

これらの発見等には、ほとんどの場合、ノーベル物理学賞が授与されています。この賞が「物理学賞」である理由は、もともと「天文学賞」がなかったことでもあります。授賞の対象となった重力波の発生や、銀河中心部のBH観測、ダークマター、ダークエネルギーの存在など天文学の最先端の新発見や新観測等は、自然の根源を左右する歴とした物理現象でもあるからなのです。

なお、会報の原稿は同好会会員だけに限定せず、広く大学・高校等で天文教育に携わる方、地域で天文活動をされている方、天文に興味・関心を持つ方に依頼しました。また、内容も天文だけに限

らずメカニクに造詣の深い方、TV放映された人気番組の記事も取り上げました。

中でも、北海道教育大学旭川校教授の関口朋彦氏の記事では、本道に



おける小・中・高の天文教育の実態と課題が明らかにされています。また、旭川北高校の富田一茂氏の内容では、高校科目「地学基礎」における天文分野の学習内容の削減が指摘されています。さらに、北大宇宙観測基礎データ研究員の佐野康男氏から超新星等の発見検索システム等の紹介をいただきました。そして、北大理学研究院の松岡亮氏（昨年博士号取得）の記事は、2個の衛星が火星に捉えられる捕獲説に比重をおいた博士論文を平易に解説していただいたものです。また、石川清弘氏のR35 GT-Rの記事は、氏の思い入れが伝わる興味深い内容です。ここで、原稿をお寄せいただいた皆さん一人一人に深く感謝申し上げます。

この会報が、旭川や道北地方の天文に関する発表・報告の集大成となることを期待しています。また、投稿された皆さんの情報発信・交換の場となるとともに、会報の発刊を契機として交流の和がますます広まることを願っています。

最後に、前会長故池田 裕 先生からの暖かいご援助の蓄積があって、会報が大変立派な体裁で出来上がっていることも申し添えておきます。

会報の発刊を契機に、会が未来に向かって前進することを願っています。 2024年6月1日(土)

北海道教育大学における教員養成と天文教育

北海道教育大学旭川校 関口朋彦

Comprehension of Space and Astronomy for UNIVERSITY Students in Teacher-Training course of Hokkaido University of Education

Tomohiko Sekiguchi (Hokkaido University of Education, Asahikawa Campus)

Abstract

We here report on astronomy education at the Teacher-Training course in Hokkaido. Most astronomical observations have not been performed at elementary schools and at junior high schools. Geoscience has not been taken generally by most high school students in current Japan. Consequently, many freshman students of Hokkaido University of Education do not understand the mechanism of the lunar phases under the old government curriculum guidelines. Some students confuse it with lunar eclipse.

1 はじめに

北海道教育大学は道内 5 キャンパスからなり、旭川校で天文学の講義がなされている。本論文では小中高において旧教育課程の教育を受けて来た教育大生の実状と課題を取り上げる。

北海道教育大学は北海道の小中学校の教員を養成するための国立大学であり、教育学部教員養成課程からなる札幌校、旭川校、釧路校、地域色を出す函館校、芸術体育系の 5 キャンパスからなる。北海道の面積は日本の国土の 22.1% を占め (九州と四国の面積と足しても北海道の面積に満たない)、教育大学が他の都府県と同様に道内に一つだけという訳にはいかない。そのため、本学は大学名としては一つの大学であるが、元々はそれぞれが独立した教員養成課程を各地方ごとに配置し「分校 (大学としては全国的にも珍しい)」として成立した。現在ではいわゆるゼロ免課程もできたが、教員養成課程の卒業生はその 6 割近くが教職に就いている。

図 1



図 1 北海道教育大学 5 キャンパスの配置図

北海道が大き過ぎることから、北海道教育大学は全国的にも珍しい「分校制度」をかつて採用していた。現在でも各 5 キャンパス各々が一つの大学に近い機能を持っているが、天文の教員は旭川校にのみ在籍する。図中の五つの星形は各キャンパスの位置を表す。

北海道の小中学校の教員の多くが本学の出身である。もちろん理科教師も同じである。しかしながら本学の天文学の教員は私一人だけであり、宇宙分野の講義は旭川校でしか行われていない。本学に私は 2008 年度に赴任した。その際の「理科」の学生とのやりとりは以下のようなようだった。

〈食堂にて〉

私 「僕は小さい頃、鉄や金属でできたタンカーが海に浮かぶのが不思議だった」

学生 「あれ？鉄って水に浮かぶわけ？沈むんだっけ？」

〈野外実習時〉

学生 「あの一、わたしとりあえず方角とか方向とか苦手なんです」

私 「うーん、でも太陽が昇る方角ってどっちの方かってのはわかる？」

学生 「え？太陽が昇るのってどっちだっけ？西？南？」

理科教育専攻在学中の大学生である。赴任した当初、学生のこのような反応は私にとっては言葉に表せない程ものすごくショッキングなものであった (そして今ではさほど驚かなくなった)。

2 教育大理科の新入生の「月の満ち欠け」の理解

2008年4月の赴任時、学生へのアンケート調査を行った。学生の現状把握のため自身での活用を考えていたことからその内容は「高校理科はどの科目を選択したか」「大学入試センター試験を受験した際理科はどの科目で受験したか」などが主だった。

その後東京学芸大学のグループから調査研究(下井倉ら, 2014)の一環としてアンケート調査の依頼があり、理科の実験観察に関する内容、とりわけ「月の満ち欠けの教授法」に関する内容も含まれていることから、2011年4月以降それまでの調査項目に加えてこの調査を実施するようになった。

以下は最初の2011年度の結果の抜粋と回答例である。回答例を図2にまた結果を表1にまとめた。対象は1年生43名に再履修3年生3名を加えた計46名である。調査は毎年4月に入学したばかりの北海道教育大学理科教育専攻の新入生に必修科目「地学概論1」の最初の講義時に行っている。

【質問】小学生に「月の満ち欠けはどうして起こるの?」と聞かれた時、あなたはどのように説明しますか。手順を追って述べてください。また、イラストを用いてもかまいません。

図2 教育大理科の新入生の「月の満ち欠け」図解

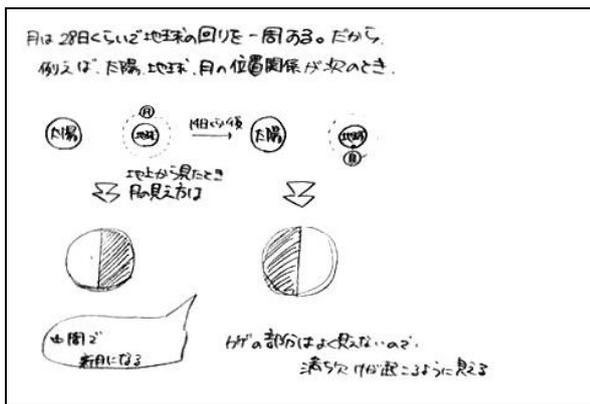


図2a 正答例(優れたもの)

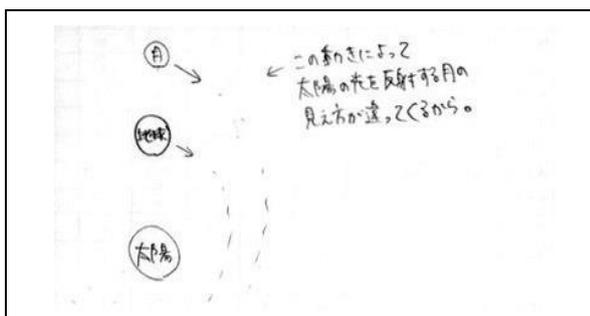


図2b 誤答例(月が太陽を公転する外惑星)

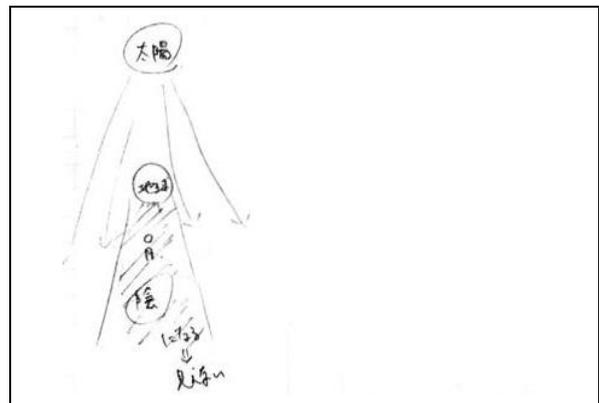


図2c 月食と混同している 1

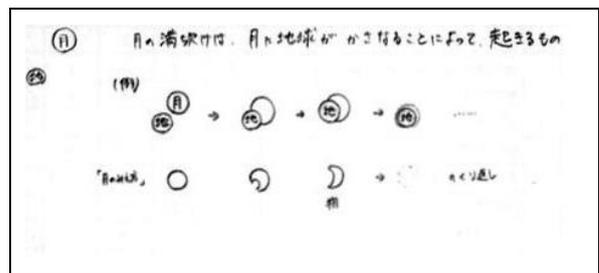


図2d 月食と混同している 2

表1 大学生の月の満ち欠けの理解

正解を書けている	16名
わかりません	4名
白紙	12名
間違っている	4名
月食と混同	10名

表1のように結果は散々たるもの。当初回答には指導例を期待していたのだが、まずは満ち欠けの説明自体が正しいかどうかに着目し、回答を5種類に分別してみた。その結果、説明が合っているものは46名中16名しかいなかった(3割強)。

これには「地球と月と太陽の位置関係」に類する言葉や図が書かれていればそれで正解としている(採点としては甘い)。また、「白紙」はおそらく面倒だから書かなかった訳ではなく(入学後すぐに学生はまだ「すれて」いないか)、「わかりません」とほぼ同義であると推察する。

この場合には「わからない」は正解数と同数ということになる。一方で、図2bのように月が太陽の周りを公転する外惑星であるような認識も数名見られた。そしてさらに特に目を引くのが「満ち欠けを月食と混同している」認識の学生が多く見られたことだ(2割強)。

科学的に思考して得られた回答かもしれないが、

なぜ大学生が月の満ち欠けをわかっていないのだろうか。教員側としてはとても憂慮すべき事態に感じている。結論は出ないが、この理由の一つには、単純に小中高で天文の実験観察をやっ来て来なかった／満ち欠けを習って来なかった事も挙げられよう（次章）。

3 これまでの(ゆとり世代の)大学生が小中高で受けて来た天文教育

北海道教育大学旭川校では理科教育専攻(学部)3年生の必修科目として「中学校理科実験」という科目を開講している。ここでは天文学分野ではまさに実験／観察／観測として中学校の教科書に載る内容を学生に実践させている。

40 数名を 4 班に分け、各班に対し物化生地の各分野を扱うため天文分野の実験回数は 1, 2 回のみ。そのため毎年扱うのは (a)透明半球を用いた太陽の日周運動の記録と (b)太陽黒点の観察の二つ

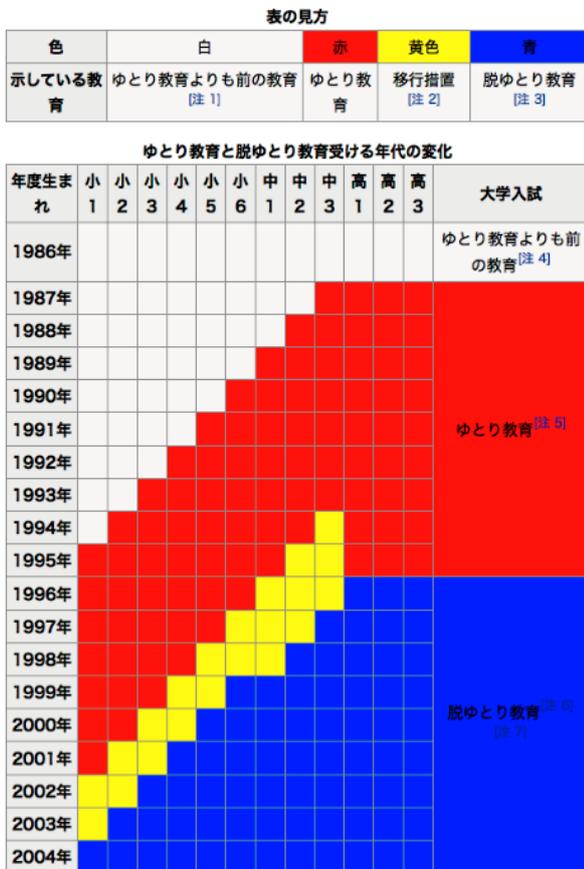


図3 ゆとり / 脱ゆとり世代

小中高で旧・現行のどちらの学習指導要領で教育を受けたかを生年ごとにまとめてある。
[http://ja.wikipedia.org/wiki/ ゆとり世代](http://ja.wikipedia.org/wiki/ゆとり世代)

の実験だけであるが、いずれも旧教育課程の教科書から扱われていた重要な内容だ。ここで問題となるのが、「中学生の時に学校の授業でこれらの実験を行った経験のある大学生はとても少ない」ことである。(a)は半分には満たないし、(b)にいたっては毎年 40 人中 1 人いるかないかだ。どの教科書にも載っている重要な実験にも関わらず実際にはほとんど実施されていないのが現状だ(ただし北海道教育大理科での調査結果)。

ここで今の大学生が小中高で「行っているはず」の教科書で扱う実験内容を見てみよう。図3は子供／学生の生年ごとに小中高で旧学習指導要領か現行学習指導要領のどちらで教育を受けたかがわかるようになっている。

(<http://ja.wikipedia.org/wiki/ゆとり世代>)

これを見ると、2011年の調査では18歳で入学した学生は天文の授業が始まる小学4年生以降高校理科までいわゆる「ゆとり教育」を受けて来た「ゆとり世代」であることがわかる(正しくは「旧学習指導要領で教育を受けた世代」と表現すべきか)。以下に天文の実験内容の抜粋を記す。

小学校での天文実験：小学校4年生

観察 月の動きを調べよう

観察 星座を見つけて時間が経つとどのように動くか／星座の位置と星の並び方を調べよう

いずれも夜に(学校時間割ではない時間に)、天体位置の時間変化を捉える実験であり、小学校時分に理科の授業で行った経験のある学生の報告は8年間で数名に過ぎない。(札幌市青少年科学館の移動天文台事業で経験したという学生もいる。)

中学校での天文実験：中学校3年生

観察 星や太陽は地球上をどのように動くか(透明半球)

観察 太陽の表面の様子をスケッチしよう(望遠鏡+投影板)

透明半球を用いた太陽の日周運動の記録

これらの実験を遂行する上での問題点は以下で改めて考察するが、隔年で担当する「教員免許更新講習」に参加する現職教員中には尋ねると30～40名中必ず1人2人の先生がちゃんと実験をやっていると答えていることは光明と言えよう。

高校での天文経験：理科教育専攻の学生の高校時における理科地学履修割合

表 2 理科教育新入生の高校地学履修者数

2009 年度新入生	2 名/41 名
2010 年度新入生	0 名/42 名
2011 年度新入生	3 名/42 名
2012 年度新入生	2 名/43 名
2013 年度新入生	2 名/43 名

高等学校で天文分野の実験経験はほぼないと行ってよい。それは高等学校地学で天文分野の実験がほとんどないことによるだけでなく、地学という科目そのものを履修してきていないことによる。先に示したアンケートの際、同時に得られる「本学新入生の高校での理科地学履修人数」は表 2 の以下のようにになっている。調査は科目「地学 I」「地学 II」のどちらかでも習っていれば、履修していたとカウントしている。

やはりよく知られているように今の大学生は高校で地学を履修してきていないことがここからもよく読み取れる。

大学入試センター試験では、かつては地学が物理と同じ時間に試験が行われており（今は別）、受験科目に物理を選択する理系の生徒は、地学を選択することがかなり困難な状況であった。このこともあり、高校では教員側から生徒に対して「理系はなるだけ地学を選択しないように」という指導が行われていた学校も多いと聞く。

そして選択する生徒が少ないと必然的に地学の教員も増員されず、これがさらに地学を開講しない高校を多くしてしまっていたはずである。高校地学減少悪循環である。おそらくこれは一つの側面、一つの理由に過ぎないであろうが、このことから高校理科で地学（天文）にまったく触れていない大学生が大多数という現状が窺える。

4 小中学校教科書に載る実験（観察/観測）の問題点

小学校、中学校の教科書に載る実験はどれも重要なものばかりだ。一方で、実際に行おうとする際には問題や障壁となる点も数多い。

夜間は校長／教頭に許可を申し出る必要性が生じたり、家庭への配慮やさらには子供を送迎しなくてはならなくなる可能性も出て来る。何より夜

- ◆晴れないと観察ができない
- ◆観察日や観察可能な季節が限られている
- ◆数時間／数日に渡って観測しないといけない／放課後に行わないといけない
- ◆50 分授業（理科の時間割）では成立しない
- ◆夜間に行うはずの観測が実質的にはできない

は塾通いの子供を集められない。

実質的に「夜間の観測は行われていない現状」にあるであろう。その場合には小学校 4 年生の天文分野の実験がやられていないことになる。これに加えて中学校では、

- ◆透明半球を生徒全員に購入させる金銭的制限
- ◆教員が天体望遠鏡（太陽投影版付き）操作の練習を積まなくてはならない

ことも挙げられる。小中高で天文をやって来っていない現職の（旧学習指導要領下で習った）若手教員は天体望遠鏡の操作ができない者が大多数であることを申し添える（特に小学校教員は壊滅的な状況）。

そして、現場の中学校教員をさらに苦しめるのが「実際の太陽黒点数」だ。太陽黒点数に直結する太陽磁場活動は 11 年で周期変動を起こし、増減次第では観測しづらい年がありうるからだ。

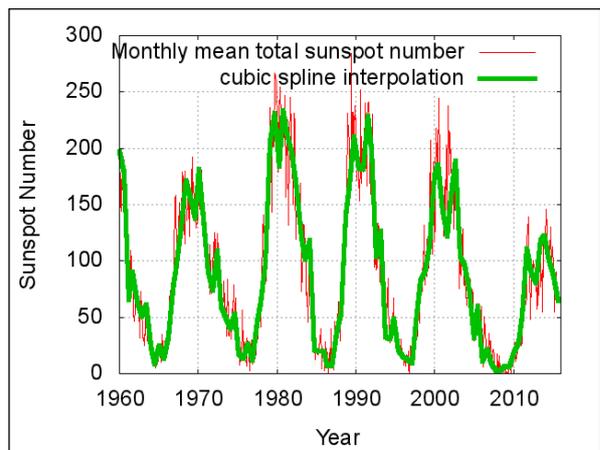


図 4 太陽黒点数の年推移

太陽磁場の活動は 11 年周期で変動し、その極小期には黒点数は極めて少ないことが読み取れる。中学校理科の実験に支障をきたす可能性も。ベルギー王立天文台のデータから描画。太線はデータの 3 次スプライン補間。

実際私自身が大学の授業で実験を行う際に可搬太陽望遠鏡 coronado やソーラースコープを用いた観測では、2010年の実験では太陽黒点やプロミネンスはまったく確認できなかった。

図4にベルギー王立天文台が公開する黒点数データを描画した(細線)。見やすさの便宜のためデータの3次スプライン補間結果を太線で示した。2010年前後は黒点がほとんど見えなかった訳だ。

5 旧学習指導要領と新学習指導要領／ゆとりと脱ゆとり?

では大学生が受けてきた教育(旧学習指導要領)とこれから大学生になる今後の新入生が受けて来た教育(現行学習指導要領)を比べてみる(表3, 表4)。いわゆる脱ゆとりでは一見して、天文分野でも教育内容が増えたことが見て取れる。とりわけ「月の満ち欠け」が小中において明示されたことが挙げられる。

表3 小学校学習指導要領における宇宙天文分野(抜粋)の旧/現行比較

小学校：旧-学習指導要領
月や星を観察し、月の位置と星の明るさや色及び位置の特徴や動きについて 4年生
小学校：現行-学習指導要領
月や星を観察し、月の位置と星の明るさや色及び位置の特徴や動きについて 4年生
月と太陽を観察し、月の位置や形と太陽の位置を調べ、月の形の見え方や表面の様子 6年生[純増]

4年生のみから6年生の天文の単元が純増、月と太陽の位置関係(満ち欠け)を小学校でも教える

小学校では旧学習指導要領では4年生しか宇宙/天文の内容がなかった。現行では4年生に加えて6年生でも天文を扱い、月の満ち欠けが教科書に復活することになった。

表4 中学校学習指導要領における宇宙天文分野(抜粋)の旧/現行比較

中学校：旧-学習指導要領
太陽、恒星、惑星とその動きの観察を行い、太陽の特徴、恒星と惑星の特徴を理解し、惑星の公転と関連付けて太陽系の構造をとらえる

中学校：現行-学習指導要領

太陽の観察を行い、太陽の特徴を見いだす
月の観察を行い、月の公転と見え方をとらえる
惑星と恒星などの特徴を理解し、惑星の見え方を太陽系の構造をとらえる [増]

月と太陽を観察し、月の位置や形と太陽の位置を調べ、月の形の見え方や表面の様子 [純増]

現行指導要領では「月の満ち欠け」が復活し、教科書の中で「日食/月食」も扱うようになった。中学校でも月の満ち欠けを扱うことになった。ここは本研究会の努力によるところもあろう(例えば縣ら, 2004年)。注意点として、どの教科書の中でもこの満ち欠けの学習のすぐに日食月食を扱っている。

これはひじょうに評価できる点であり一方で、注意を払って授業しなくてはいけない点でもある。現状の月の満ち欠けを説明できない「大学生」に対して、月の満ち欠けを説明する際、「じゃあなぜ満月のたびに月食が起こらないの? 新月のたびに日食が起こらないのだろうか?」と必ず聞くようにしている。

そしてそれに答えられる大学生はほとんどいないのが現状であるのだ(天文学研究室の4年生も答えられなくて驚いた)。地球と月と太陽の位置関係を平面的に教えてしまっただけでは、宇宙を空間的に立体的に理解することはひじょうに難しいのである。

高等学校地学 学習指導要領

では高校ではどうだろう。高校地学に関する問題点はこれまでも数多く取り上げられており、ここでは詳細は割愛するが、ポイントは現行指導要領では宇宙の大規模構造や宇宙のビッグバンの証拠、宇宙の年齢を扱うことが強調されたことにある。

ここでも注意点として挙げておきたいのは「宇宙の年齢」であり、WMAP衛星による観測結果から「137.4±1.1億年」とされ、高校地学の教科書を出版する数研出版と啓林館のどちらの教科書にも約137億年と明記されているのだが、その後のPlanck衛星による観測結果から「137.96±0.58億年」と約138億年になってしまっていることに注意したい。

実際に教える現場の教員はたいへんである。(W

MAP衛星の結果も最新のPlanck衛星の結果も誤差の範囲内ではまったく整合的である)

6 おわりに

これまでの(最近の)大学生の現状を北海道教育大学理科教育専攻(学部)を例に取り上げ、そこにおける問題点を考察した。以前の旧学習指導要領で教育を受けてきた現大学生は小学校中学校で天文学の実験をほとんどやって来ていない。そして高校理科で地学を選択していない。

そして北海道の教員に話を限ると、現場教員を輩出する北海道教育大学では旭川校以外では天文の講義がない。小中高さらに大学でも天文教育の経験のひじょうに乏しい教育大卒業生が現場の教壇に立っているのが今の北海道の天文教育の現状である。

現在の大学生は学習指導要領の観点において過渡期にある。一方で今後の大学生たちは小中高において脱ゆとりの現行学習指導要領の下で学習して来たことになる。現行指導要領で学習してきた今後の新入生が月の満ち欠けの説明ができる学生たちであることを期待する。

参考文献

- ◆「理科教育崩壊—小学校における天文教育の現法と課題—」, 縣秀彦, 2004年4月号天文月報
- ◆「理科を専攻としない学生を対象とした「小学校理科を教える自信」に関する調査—理科内容学の視点から—」 下井倉ともみ・土橋一仁・松本伸示, 2014, 科学教育研究, 第38巻, 第4号
- ◆“World Data Center-Sunspot Index and Long-term Solar Observations”, Royal Observatory of Belgium
- ◆<http://ja.wikipedia.org/wiki/ゆとり世代>

質疑応答

Q : (伊藤哲也さん) 理科の教員を目指す学生の「月の満ち欠けの理解度の低さ」に驚いた。また、現職の小学校の先生が天文をわかっていないというのは良く耳にすることでもある。このような状況の中で北海道教育大学では旭川校以外の4キャンパスでは天文学の講義がないとの

ことだが、今後どのような対策があり得るのか。

A : 学内のテレビ会議システムで遠隔授業をするなど、やはり関口が努力すべき部分があると思います。しかしながらそれでは根本的な解決策にはなっていない。やはり全国的な取り組みの中で小中高での教育課程から考えないといけない面もあるのだとも思います。

Q : (内山秀樹さん) 静岡大学教育学部の理科専修の場合でも学生の状況はよく似ている。多くの学生が、季節(春夏秋冬)が移り変わる理由を説明できない。故に北海道教育大学に特有の問題などではなく、今の学生がこれまでに受けて来たカリキュラム自体に問題があるろう。

A : なるほど、どこでも状況は同じなのですね。(皆で考えていかななくてはなりませんね)

Q : (矢治健太郎さん) 小学校実験における「月の見える位置の観察」を日中に実際に行った経験がある。二時間程度の時間でも位置の変化が十分にわかる(理解させることができる)。

A : (授業の順番を入れ替えて、日中に月が見える日程で授業を設定しなければならないという問題も発生しうるが) 検討する価値は多いにあるかと思います。ありがとうございます。

Q : (船越浩海さん) 地域の科学館やプラネタリウムの活用も視野に入れてみてはいかが。

A : それは重要な観点だと思います。ありがとうございます。(一方で北海道では、札幌旭川などプラネタリウム施設のある都市部の学校では可能だが、郊外や小規模校/へき地校などでは都市部まで出るだけで数時間掛かってしまう。「施設へのアクセス」の問題もある。)

本原稿は2015年に開催いたしました「天文教育普及研究会(2015年)年会(テーマ:地域と育む新しい天文コミュニティの形—学び・文化・人—)」(2015年8月19日~21日、北海道大学百年記念会館:関口は実行委員の一人)において行った発表内容の集録原稿を、富樫会長が再構成したものです。(記事や扱ったデータはその時点のもの)

<https://tenkyo.net/paper/annual/>

高等学校「地学基礎」における天文分野の学習内容の削減

富田 一 茂

1 はじめに

2022年度入学生から学習指導要領が改訂され、残念なことに、高等学校「地学基礎」における天文分野の学習内容が大きく削減されてしまった。

2 高等学校『地学基礎』における天文分野の学習内容の削減

2022年度入学生から施行された新学習指導要領において、地学基礎の天文分野の学習内容は次のようになった。

①太陽に関する学習内容が大きく削減された

旧学習指導要領では次を学習していた。

- (ア)粒状斑、黒点、白斑、プロミネンス、コロナ、周辺減光などの太陽の概観
- (イ)黒点の動きから、地球から見た太陽の自転周期がわかり、赤道付近では約27日、高緯度では約30日と緯度によって太陽の自転周期が異なること
- (ウ)フレアが起ると、約8分後には強いX線や紫外線によりデリンジャー現象が、1～数日後には太陽風により磁気嵐やオーロラが発生すること
- (エ)太陽のスペクトルには多くの暗線(フラウンホーファー線)があり、そこから太陽大気元素組成がわかること
- (オ)太陽の中心では核融合が起っていること

しかし、新学習指導要領になり、(ア)の太陽の概観は、黒点、プロミネンス、コロナなどのごく一部のみになり、(イ)太陽の自転周期、(ウ)フレアによる地球への影響、(エ)太陽のスペクトルは、扱われないようになった。

②恒星についての学習内容が大きく削減された

恒星の明るさ(等級)は完全に削除され、5等級差で明るさ100倍異なることは学ばなくなった。

太陽の誕生については、学習内容が星間雲から原始太陽が誕生し、主系列星に(現在の太陽)になるまでになり、将来赤色巨星を経て、惑星状星

雲と白色矮星になることは削除された。また、主系列星になる前のTタウ型星については、用語が削除された。

③銀河については完全に削除された

天の川は銀河系を中から見た姿であること、銀河系の構造や大きさ、銀河群や銀河団、宇宙の泡構造などの宇宙の大規模構造を学習していたが、新学習指導要領では完全に削除された。

④太陽系の天体についての内容は変更がない

地球型惑星と木星型惑星、小惑星や彗星、太陽系外縁天体、月の誕生(ジャイアントインパクト説)など、太陽系の天体についての学習内容に変更はない。

⑤宇宙の誕生についての内容も変更がない

ビッグバンや宇宙の晴れ上がりなど宇宙の誕生についての学習内容は変わらない。

3 新旧学習指導要領の比較

新旧学習指導要領の比較は以下の通りである。下線部が天文についての学習である。

①旧学習指導要領(2013年より施行)

(1)宇宙における地球

ア 宇宙の構成

(ア)宇宙のすがた (イ)太陽と恒星

イ 惑星としての地球

(ア)太陽系の中の地球 (イ)地球の形と大きさ
(ウ)地球内部の層構造

(2)変動する地球

ア 活動する地球

(ア)プレートの運動 (イ)火山活動と地震

イ 移り変わる地球

(ア)地層の形成と地質構造
(イ)古生物の変遷と地球環境

ウ 大気と海洋

(ア)地球の熱収支 (イ)大気と海水の運動

エ 地球の環境

(ア)地球環境の科学 (イ)日本の自然環境

②新学習指導要領（2022年度より施行）

(1) 地球のすがた

(ア)惑星としての地球

⑦地球の形と大きさ ⑧地球内部の層構造

(イ)活動する地球

⑦プレートの運動 ⑧火山活動と地震

(ウ)大気と海洋

⑦地球の熱収支 ⑧大気と海水の運動

(2) 変動する地球

(ア)地球の変遷

⑦宇宙、太陽系と地球の誕生

⑧古生物の変遷と地球環境

(イ)地球の環境

⑦地球環境の科学 ⑧日本の自然環境

旧学習指導要領では、「(1) 宇宙における地球」が大項目にあったが、新学習指導要領では大項目から「宇宙」という文字が消えている。「地球の変遷」を学ぶ中で、宇宙の誕生や、太陽系・地球の誕生について学ぶように改訂された。そのため、銀河や恒星の明るさなど、太陽以外の恒星については「地学基礎」では学ばなくなってしまった。

学習しなくなった内容については、「地学」という科目で学ぶが、「地学」を選択できる高校はごく少数であり、多くの生徒が学習する「地学基礎」から天文の学習内容が削減されてしまった影響は大きい。

4 今回の内容削減の問題点

今回の学習指導要領改訂で、生徒が一番興味関心をもちやすい内容が削減されてしまったと私は感じている。実験・観察を通じて探究活動を行う

ことが求められているが、天文についてはそれに逆行した内容になった。生徒が興味関心をもちやすいのに削減されてしまった内容には、次のようなものがある。

①フラウンホーファー線

フラウンホーファー線の観察は、精密な分光器が必要となるが、その代わりに直視分光器を用いて、太陽の連続スペクトルやナトリウムランプや蛍光灯の暗線を観察して、フラウンホーファー線につなげていたが、フラウンホーファー線がカットされてしまった。

②太陽表面の黒点の動きの観察

黒点の動きから、太陽は高緯度よりも低緯度の方が、自転周期が短く、そこから太陽が気体であることを想像させる内容であったが、新学習指導要領では黒点を観察するだけになってしまった。

③天の川の幅や濃淡から、銀河系の形を想像

天の川が銀河系を内側から見た姿で、いて座の方向の天の川の幅が広く、明るいことから、この方向に銀河系の中心があることを想像することが、旧学習内容にはあったが、完全に削除された。

④天体写真から天体を分類する

旧学習指導要領では、散光星雲、惑星状星雲、球状星団、銀河などの写真を分類させることができたが、惑星状星雲と銀河を学ばなくなったために、それができなくなってしまった。

5 まとめ

以上のように、新学習指導要領では、実験・観察や探究活動を行いやすい部分が削除されてしまい、学習内容に深まりがなくなってしまったように私は感じている。理科の他の科目は内容削減されていないのに、宇宙だけが削減されてしまった。誰もが興味をもつ内容であるので、次の学習指導要領改訂で内容が元に戻って欲しいと思っている。

今回の改訂については、日本天文教育普及研究会が「新学習指導要領高等学校理科『地学基礎』における天文分野の内容再編・縮小に関する声明」(https://tenkyo.net/activity/declaration/statement_basic-earth-science/) を発表している

超新星・新星等の発見と測光観測について

北海道大学大学院理学研究院宇宙観測基礎データセンター研究員 佐野康男



写真1 自宅のスライディングルーフ観測所に作ったシステム

前回の投稿では北海道初の超新星発見について書きましたが、今回は自宅観測所に新たに作った超新星等の発見検索システムや、測光観測方法を簡単にご紹介させていただきます。

1 新たに構築した発見・観測システム

2016年、なよろ市立天文台を退職後に、残りの余生を新たな発見や未知の天体の観測に携わることで、天文学に少しでも貢献できないかと考えていました。

もともと2002年に作ったスライディングルーフ観測所があったのですが、経時変化でだいぶ壊れた部分が多かったため修繕等を行いました。

今まで使っていた発見機材を全て撤去して新たな機材を導入し構築、観測機材はセレストロン社の口径35.5mm F11のシュミットカセグレン式望遠鏡に市販のヒーター付きフードを改造し、シュミッ

トカセグレンで一番厄介な筒先部分のCPガラス曇りやカビを除去するため、フード内に除湿剤と湿度計を設置し、面倒な取り外し洗浄作業をしなくて済むようにいたしました。鏡筒と観測装置とのバランスをとることで一定のモーター追尾を得るためにウェイトを鏡筒に取り付けました。

また、この鏡筒は筒底にある鏡を移動するタイプなため、遠隔等でピント調節をすると鏡のミラーシフト(ピント時に鏡を移動すると傾いてしまう)が大きくて星が視野から外れてしまい苦労していたため、鏡筒内部にスペーサーを入れミラーシフトを最小限にすることができました。

赤道儀は中古のタカハシ製品を札幌のアストロAUで購入し寒冷地仕様に改造していただき、駆動モーターは赤緯・赤経共にDOG NS-5000ベルト式に変更していただきました。自動導入スピードは200倍に設定していますが、現在までに最低気

温-27℃でも全く問題なく使用できています。

極軸部分には水平装置を取り付け、ドリフト法で一度合わせてから設定することで正確な極軸出しがスムーズにできています(極軸調節は工具レスにしています)。

そして、新たな突発天体発見(新星・矮新星等)や測光観測に対応する機材も構築、元々持っていたタカハシ製のEM200をDOG NS-5000の駆動モーターに改造し、目的に応じて様々な鏡筒や観測装置を搭載できるようにいたしました。

測光観測では、FLI社製品の冷却CCDを購入しましたが、現在(2024年)では、低コストのCMOSの出現で、多くの主要製品が製造中止となり、多色測光を遠隔で行うために必要なフィルターホイールを中古で手に入れ、この鏡筒で撮像した時に視野が有効に使える焦点距離をテストで見だし改造いたしました。

2 冷却CCDカメラの導入

以前使っていた冷却CCDカメラは旧式(SBIG社)のため、汎用性がなくて転送速度が非常に遅いため(パラレルポート)、USB転送が可能なFLI社のML1001Eを購入しました。

このCCDは汎用性が高く、後で記載する多色測光観測をするために必要なソフトが充実していることで、今まで出来なかった設定が自由自在にできます。大きな部分では、CCD撮像と自動導入や一次画像処理が一度に出来ることから、発見天体の整約に必要な情報処理が一括でできることです。



写真2 FLIの冷却CCDカメラ

しかし、現在(2024年)では、低コストのCMOSの出現で、多くの主要製品が製造中止となりました。

3 遠隔観測に必要な改造(観測所)

望遠鏡の操作は全て自宅内で行えるように、まず観測所内部の配線等を追加しました、望遠鏡や様々な観測装置を大容量で遠隔操作するため、USBの延長コードとLANコードの工事を行い、これにより野外監視モニターで常に天気情報が取得でき、観測機材に大きなダメージをもたらす雨や雪による被害をキャンセルすることができています。

また、遠隔で月面や惑星撮影に最も威力を発揮したのは、2種類のフォーカス装置で使用目的別に使い分けています。

遠隔では無線Bluetoothも使えますが、やはり時々接続不具合がでることがあるため、重要な観測も多いことから、工事に手間はかかりましたが有線で行っています。

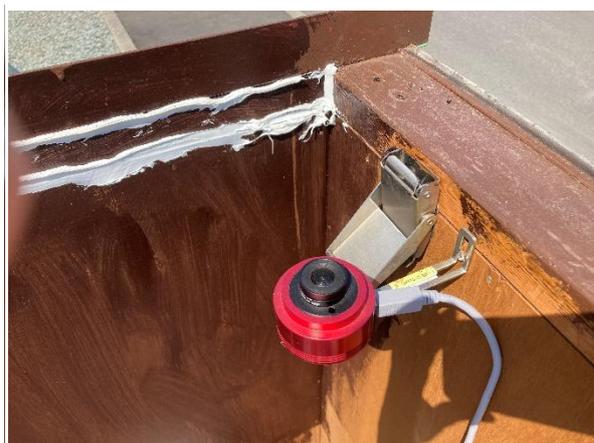


写真3 監視用モニターカメラ

4 遠隔観測に必要な改造(室内)

室内もこの機会に全て見直しました。PCは8台を自作、モニターは6台、

- ◆望遠鏡操作
- ◆CCD等の観測装置操作
- ◆観測情報表示
- ◆野外モニター表示



写真4 観測用のモニター

に振り分け、内部デバイスは全てHD⇒SSDへ変更し情報処理の高速化をいたしました。

LANシステムも5⇒16ポートに変更して、色々なデバイスが接続できるようにしました。

5 超新星発見システム

発見方法に関しては以前と同じ方法なのですが(前号に記載)、発見検索に必要な銀河データベースを構築し直し瞬時に検索できるようになりました。

大きな点は、FLI CCDカメラの操作ソフトにAstroart6(アストロアート)を購入していますが、CCDの撮像はとても多用途で、今まで手間取って苦労していた銀河の濃淡部分を、簡単な操作で処理ができて細かい部分まで確認することができます。また、ちょっとした変化を見逃しなく確認することができます。また、面倒な一次処理も同時に出来るので(多数枚も)、より高画質な搜索画像がスピーディーに取得できます。

同時に、赤道儀の自動導入も同時に出来るので、1台のPCでキーボードをてこずることなく操作できるのでとても重宝しています(現在は最新のアストロアート8にバージョンアップしています)。

6 超新星発見の確認と報告

もし超新星を発見した場合は自分である程度の情報確認が必要ですが、たいていの場合はノイズや宇宙線イベントがあったり、冷却CCDのクセや個体差もあり瞬時に解決できないこともありま

す。事前にCCDのテストや機材のクセを知っておくことが大切なこととなります。

以下は発見時に必要な主な確認項目です

- (a) 過去画像との比較
- (b) 過去画像が無い場合はDSS画像や銀河情報サイトから各色で撮像された画像を比較
- (c) 新星か矮新星、変光星か確認する
- (d) 小惑星、彗星の確認
- (e) 位置測定と光度測定
- (f) 報告

6(a) 過去画像との比較

超新星搜索は過去画像との比較によって、今まで無かった場所に恒星状天体を見つけることなのですが(PSNと言います)、一番ベストなのは自分の機材で、過去に搜索した画像(同じ機材条件)と比較するのが良いのです。

別な機材で撮像し比較すると、赤外域に偏っているCCDと普通の波長域での差がある場合は、比較が出来にくい場合があります。また、現在主流となりつつあるCMOSについては、かなり質は上がっていますが、様々な状況はまだ把握できていないところです。

6(b) 過去画像が無い場合は、DSS画像や銀河情報サイトから各色で撮像された画像を比較

初めて搜索する銀河の場合、もし超新星らしき天体を発見しても、過去画像と比較が出来ないためインターネットサイトでの銀河画像が参考になります。

私がよく使っているのはPanSTARRS(パンスターズ)の画像で、6色波長が表示され超新星以外の確認でも重宝しています。また、サイズも自由に変えられるので便利です。

ただ注意が必要なのは、サイトで表示される画像の撮像時期が古いと、銀河系内の恒星で比較的地球に近くて暗い恒星の場合は、1年でも固有運動により位置がずれている場合があります(自分の元画像があれば経過が良くわかります)。

■ PanSTARRS(パンスターズ) ■

<https://ps1images.stsci.edu/cgi-bin/ps1cutouts>

他にも、色々な銀河画像があるので、自分に合ったインターネットサイトを探しておくのがよいです。

6(c) 新星か矮新星、変光星か確認する

変光星とは明るさを変える天体のことで、超新星・新星のような突発天体等も含まれます。大まかには新星(回帰新星、X線新星等)・矮新星(UGSS、UGSU等)・フレア星(褐色矮星や赤外星等)、連星系の食による変光(アルゴルなど)、脈動変光星(ベテルギウスなど)、その他不規則な変光星天体と、様々な種類があります。

これらの天体を最初から知ることは容易なことではありませんが、日本国内だと日本変光星研究会(VSOLJ)に入会することで様々な情報がメール等で知ることができるのと、vsnetのような世界中の観測情報とも繋がっているので、超新星以外の天体現象もリアルタイムで知ることができます。

また、海外ではAAVSO(アメリカ変光星観測者協会)には世界中から様々なデータが寄せられリアルな情報も見られます。

■ AAVSO ■ <https://www.aavso.org/>

6(d) 小惑星、彗星の確認

銀河の側にある可能性の確定・未確定小惑星情報の確認、木星や土星など大量の衛星がある場所での検索(良く誤報として報告されています)彗星の確認等、これらは超新星らしき天体を報告する前に必ず確認する必要があります。

また、インターネットサイトで検索することができますが(IAU MPC)、残念ながら惑星の衛星は検索に引っかかりません。私は、今のところ新しくなったGUIDE9.2と言う優れた星図ソフトを自分なりに構築していて、惑星の衛星では今のところ問題無く確認しています(何度か驚かされていて、誤報を免れています)。

また、このソフトはMPCから小惑星・彗星データをダウンロードして、表示に必要なフォルダーに入れることで、とても見やすく表示することができます。

■ 小惑星チェッカー ■

<https://www.minorplanetcenter.net/cgi-bin/checkmp.cgi>

■ 小惑星・彗星チェッカー ■

<https://www.minorplanetcenter.net/iau/MPEph/MPEph.html>

6(e) 位置測定と光度測定

超新星の位置測定は、多種多様なものがありますが、私は昔からAstrometrica(アストロメトリカ)を使っています。

こちらは、位置測定だけではなく、光度測定や小惑星・彗星軌道要素からの位置情報も同時に得られます。また、恒星の種類も選択でき(USNO、UCAC、Gaia等)、より高精度な測定が出来ます。ただ設定には事前に自分の観測機材に合わせてテストすることが必要で。

■ Astrometrica(アストロメトリカ) ■

<http://www.astrometrica.at/>

6(f) 報告

現在、既に発見された超新星の確認や自分で見つけた超新星の報告は全て、Transient Name Server(TNSと略して呼んでいます)になっています。

■ TNS ■ <https://www.wis-tns.org/>

このページの中でIDとパスワードを登録することで、最新情報がリアルタイムにメールで送られて来ます、報告方法はここでは省略いたします(私で良ければご連絡くださいませ)。

最近では新星や他の突発天体もTNSに報告されているので、新天体情報としても有意義なサイトです。

以上で、私の超新星に特化した検索方法を簡単にご紹介いたしました。世界中には多種多様な方法で発見方法を確立されている方達がおられ、また、国内外の研究機関では世界各地に設置されている天文台設備をネットワークで結び(宇宙望遠鏡も含めて)、リアルタイムで膨大な情報から瞬時

に発見されるようになりました。

そんな中、私は昔と変わらずの古い方法を使い続けていますが、私の目的は全てが超新星発見ありきではなくて、まだ見ぬ銀河の姿を楽しみながら、一つ一つ特徴のある天体を見ながら続けることが好きなのです。

勿論PCを駆使することでもっと簡略した方法はあるのは知っていますが、あくまでも「趣味」として楽しんで探索を続けることが、私にとって長続きしているように思います。

7 新たに構築した発見・観測システムについて

冒頭でも書きましたが、4年ほど前から新たな突発天体発見(新星・矮新星等)や測光観測に対応する機材も構築しようと考えて、元々持っていたタカハシ製作所のEM200をDOG NS-5000の駆動モーターに改造し、目的に応じて様々な鏡筒や観測装置を搭載できるようにいたしました。



写真5 タカハシEM200を改造した新しいシステム

こちらのシステムも全て寒冷地仕様に改造済みで既にテストも終わっています。特徴的なことは、DOG NS-5000のモーター駆動システムは非常に

汎用性に優れていて、恒星時追尾を目的に合わせてスピードコントロールが出来ることです(赤緯・赤経共に)。

応用として、他のメーカーでは単純な月モード追尾しか無いのに対して、このシステムでは月の白道(地球を公転する月の軌道)を天の赤道と合わせて設定できることです。

また、移動天体に対しても赤緯・赤経のスピードコントロール設定ができるため、太陽系内のあらかじめ軌道がわかっている天体を追尾設定することができます。ただし動きの速い人工天体や地球に異常接近する特異小惑星や彗星状天体では、シミュレーション可能なシステムを構築する必要があります。

このシステムの主な目的は、銀河系内の新星等の突発天体を発見する目的で構築いたしました。そのシステムは札幌市在住の金田宏さんが作った「CCDF」と言うソフトです。金田さんが作ったこのソフトは、国内の研究機関や変光星研究会の観測に特化したものも作られており、なんと言っても国内の新天体発見者のほとんどの方が利用し数多くの実績を作っています。

道内では、釧路市在住の上田清二氏が新星発見で素晴らしい実績を上げていますし、このソフトを開発した金田さん本人も北海道初の新星発見(2007年)を達成されています。

この金田さんが作ったソフトを元に構築した機材には、3種類の鏡筒による観測装置を作成、目的別に簡単に設置できるようにいたしました。

また、移動用の機材も完成していて、一般市民の方を対象とした望遠鏡からのリアルタイム映像を見てもらい「新天体発見体験!!」を企画しているところです。

これについては市民団体の方達による連携が必要ですが、なよろ市立天文台建設計画時からお世話になっている市民団体の方達との協力は現在でも継続させていただいて、私にとって何よりも大切な宝です、とても感謝しているところです。

尚、この発見システムに付いては次回の会報でご紹介しようと思います。

8 測光観測システム構築について

私は1997年から、日本変光星研究会のVSOLJや京都大学宇宙物理学教室のVSNETで様々な観測に参加してきました。

私の超新星発見の大きな目標は、自分で発見した超新星を自分の機材で観測することでした。

当時は現在のように超新星の詳細は得られていない状況で、何より爆発した超新星は一体何日？何時間で？地球上から望遠鏡でキャッチできるのかがとても興味がありました。

私が自作した機材でも超新星発見対象となる銀河の距離は、光の速度で片道約2億光年もかかる遠くにある銀河です。その途方もない距離にある銀河に出現した超新星を一体どの程度観測できるのかワクワク妄想していたものです。

最初の頃は、超新星観測しか頭になかったのですが、1996年頃 vsnet で知り合った京都大学宇宙物理学教室の加藤太一先生や、現在、国立天文台広報普及室の山岡均先生の兩人から、vsnet で新天体情報が流されてきたものを、連続で測光してほしいとの依頼がたくさん来るようになりました。

その中には、当時とても珍しいUGSU WZ Sge タイプの矮新星測光観測に携わることが多くなりましたが、まだ測光の手順や大量の画像を測光するソフトも持っていなかったため、数百枚の画像を一枚一枚手計算で測光していましたが、とても苦労したことを覚えています。

そこで、何か良い測光ソフトがないものかとお聞きしたところ、Mira というソフトが海外の研究者に使われていることを教えていただき、すぐに購入値段は高かったのですが、数百枚の画像をあっという間に設定測光できたことに、とても感動いたしました(現在は最新版を使っています)。

ただ、当時は冷却CCDのフィルター無しの測光だったため、時間分解能を必要とする変化のみを観測することには使えますが、天体の外層部分や内部の情報を得るためには、観測ごとに必要な単色の光りだけを透過する標準測光用フィルターが必要となるため(ジョンソン/カズンズ規格)、すぐに標準測光観測ができるフィルター(UBVRI)を作ってくださいました。しかし、当時は機材が

遠隔に対応したものがなくて手動操作のため、とても手間がかかり苦労していました。

それを解消するため、なよろ市立天文台建設では標準測光ができる機材を構築し、標準測光観測が遠隔でできるようにいたしました。

余談ですが、私はなよろ市立天文台建設が終了とほぼ同時に、脳の重い病で救急搬送され余命半年を宣告されました。しかし、国内屈指の名医による手術により、麻痺や後遺症は残りましたが、復帰後はなよろ市立天文台にて8年間勤務、名寄市立木原天文台では15年勤務、トータル23年間、天文台で仕事が出来たことは、関係者の皆様に深く感謝しています。

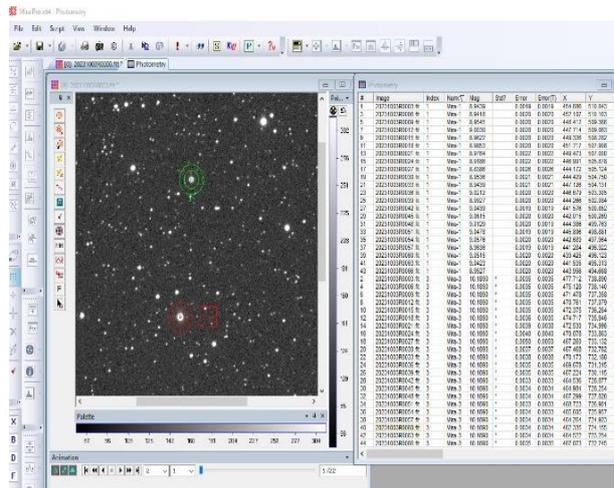


写真6 最新の測光ソフト MIRA Pro64

9 フィルターローテーションによる多色測光観測

さて、退職後に構築した機材について既にご紹介しましたが、自宅観測所での新しい測光システムは、FLI社製品の冷却CCDに、多色測光を遠隔で行うために必要なフィルターホイールを中古で手に入れ改造いたしました。

そのシステムはAstroart6(アストロアート)から8にバージョンアップされ機能が更に優れていて、フィルターローテーション多色測光が自在にプログラムできるようになったことでした。

これにより、各波長のフィルター交互が自動画像でき、観測結果も安定した結果を得られるようになりました。

ここではたくさん測光観測した超新星・新星や矮新星の中で、主な天体をご紹介します。



写真7 多色測光に使うフィルターホイール

10 特異な新星の多色測光観測の例

2021年、三重県亀山市在住の中村祐二さんが発見したカシオペア座新星 Cas V1405 で、この新星は京都大学岡山天文台に設置されている「せいめい望遠鏡（口径3.8 m）」により発見直後に、初期のスペクトルがキャッチされ、その特性からカシオペア座 Cas V1405 は、まだ明るさが極大に達していない古典新星とされ、さらに増光することも予想されていました。

大抵の新星は発見時の爆発後は急激に減光してしまうのですが、この新星は発見時は約9.6等星だったものが増光し続け、約2ヶ月後に更に大幅な急増光となり、最大5等星まで明るくなる「肉眼新星」となり世界中で注目されることになりました。

また、この新星のカシオペア座 V1405 星からわずか1.3秒しか離れていない位置には、この新星が発見された同じ年に「CzeV3217」が既に発見されていて0.376938日（約9.05時間）の周期で2つの天体が公転しあう食連星が存在することが知られていました。CzeV3217は14.9等星～15等星の範囲で変光するおおぐま座W型変光星のようで、太

陽程度の質量を持つ晩年の恒星が白色矮星とロッシュローブを満たしている主系列星の2つから成る「新星状変光星」と呼ばれる激変星の一種であると考えられ、カシオペア座 Cas V1405 星として出現した新星は CzeV3217 で発生したものとみられているようです。

CzeV3217はGaia(ガイア計画による星表)により年周視差測定も行われており、その測定に基づくと地球からの距離は約5500光年程度となるようです。

さて、この Cas V1405 については、中村祐二さんが発見し、2021年3月18日にCBATに報告。私は、翌19日に確認観測して報告しました。

3月20日には、私の所属しているVSOL Jから前原祐之先生(国立天文台)により vsolj-news-371号が発行され、私が確認観測したことも掲載されました。



写真8 Cas V1405 2021年5月と2023年12月の比較

この新星の測光で一番苦労したのは、急激な明るさの変化があるため、毎回撮像した画像のカウント値の飽和状態を確認すること、そして比較星の選択と測光する P F S 値を（開口測光の範囲）上手くマッチさせて測光するかでした。更にフィルターローテーション多色測光でもカウント値に支障の無いように設定し長期にわたる観測値の誤差を最小限に収めることでした。

現在まで(最終観測は2023年12月3日)このCas V1405を観測した期間は約1000日に達しました。

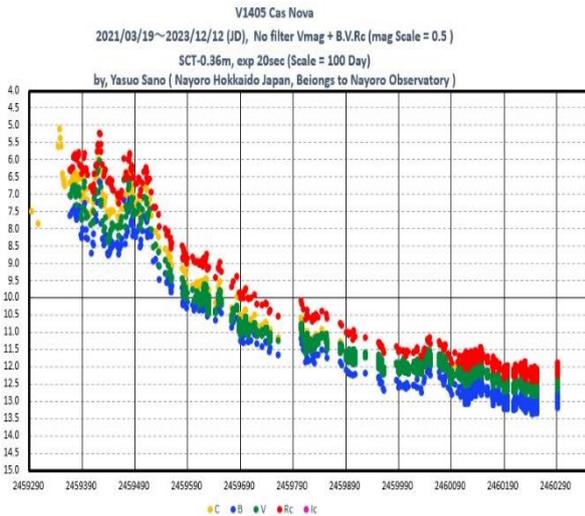


写真9 Cas V1405 1000 日間の光度曲線

最初の測光では爆発初期なのか明確な周期を、私の観測から見いだすことは出来ませんでした。減光するに従って何種類かの周期らしきものが見られましたが、なかなか規則性は見いだせなかった状態でした。

そんなところ、岡山県倉敷市の測光観測ベテランの赤澤秀彦さんと大島修さんから共同研究に誘われました。凄く助かったのは、私の標準測光システムが実際の程度正確なのかは、実践で比べたことが無かったのですが、後に比較測定精度を行うため、時間分解能の高い同時測光観測を比較

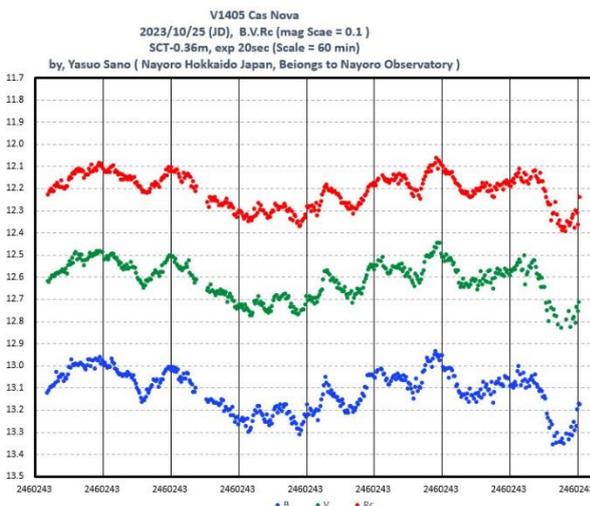


写真10 Cas V1405 のフィルターローテーション多色測光による8時間の光度曲線

したところ、各色共に最高精度では0.05以内の等級誤差で収まっていた結果が出たときはとても嬉しい気分になり、その後の測光観測報告への意欲と自信もつきました。

まだこの新星Cas V1405の決定的なデータはまとまっていませんが、各色にはまるでスーパーハンプのような波がキャッチされていることが謎のままです(矮新星では良く観測されます→爆発時期によりスーパーハンプの波形はタイプにより異なります)。

まだ、元星の等級には戻っていませんが、元星の等級に戻った時期の測光観測を楽しみにしているところです。

11 印象的な超新星の多色測光観測の例

次に、今までたくさんの超新星観測を行っていた中で、とても印象的な多色測光観測ができたものをご紹介します。

この超新星は、2022年4月16日に山形県の板垣公一さんが口径50cmの望遠鏡により、おとめ座の銀河NGC4647に超新星(SN2022hrs)を発見されました。その5時間後にイタリア超新星探索プロジェクトのわずか口径20cm望遠鏡の分光器によりIa型超新星であることがわかりました。

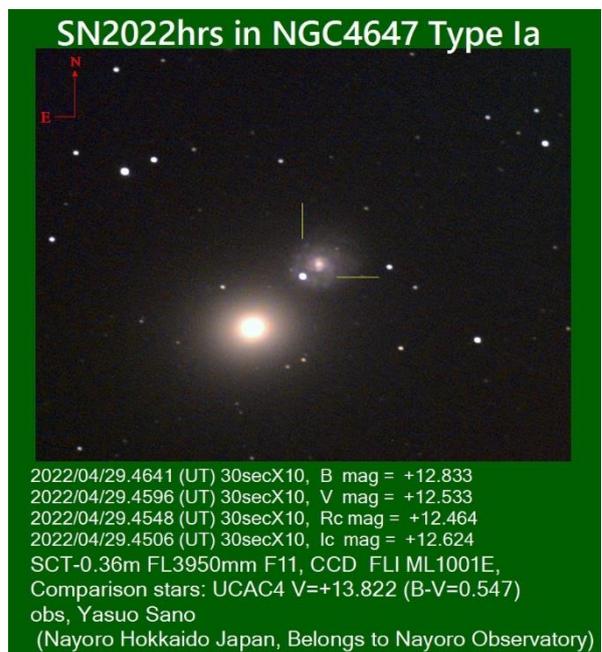


写真11 SN2022hrs のカラー合成画像と観測値

超新星爆発には大まかに分けると、赤色巨星や青色巨星の単独星爆発によるⅡ型タイプと、連星系の恒星から白色矮星にガズが流入され限界を超えたときに爆発するⅠa型超新星に分けられています(詳細はここでは省略いたします)。

私は以前から、私たちの地球に近い銀河で明るくなる超新星(12等星級)を、ピーク前から多色測光で正確な光度曲線を描きたいと言う考えがありました。

しかし、実際には街中にある自宅前の限られた視界で、明るい超新星が長期間観測できる機会は非常に難しく中々実行できないでいました。

そんな中、板垣さんが発見したこの超新星は積雪時期が終わり、比較的天候に恵まれる4月に発見され、更には視界的に見て長期間追跡できる対象でした。

超新星のフィルターローテーション多色測光は新星とはまた違った難しさがあり、超新星が銀河のどのような場所に出現しているかによって、測光する方法が異なってくることで、比較用の星が近くにあることも大きな要素となります。幸いSN 2022hrsは、銀河の端に出現していて、比較星もベストなものがあったことから、測光は比較的精度良く出せることができました。

また、正確な光度曲線を出すためには、各色の撮像枚数を稼ぎ、各色の平均値で光度を決定するため観測時間を要すことから、天候に大きく左右されるもので思った以上に苦勞いたしました。

その結果、図のような特徴的Ⅰa超新星の光度曲線をほぼカバーすることができました。このような測光方法を確立して、今度は違うタイプの超新星が出現したときに、今回のSN 2022hrsと比較することで、教育的な資料として利用することが出来ればと考えた次第です。

この光度曲線は、2023年にドイツの天文専門誌に掲載されることになりました。

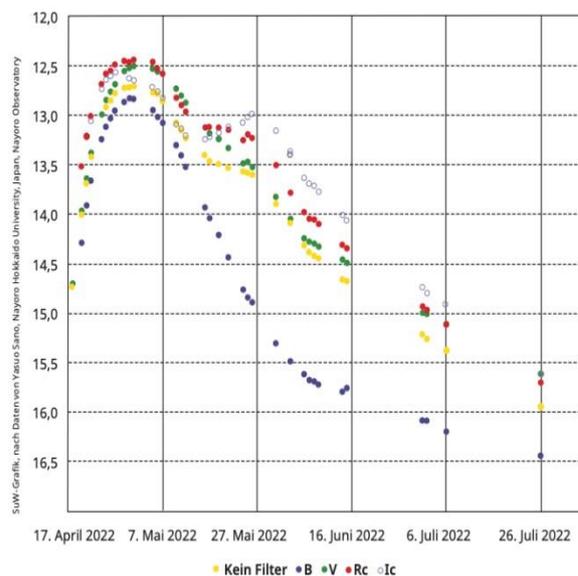


写真 12 SN 2022hrs の光度曲線 専門誌に発表

今回の投稿は、以上簡単な内容で説明が不足している点がありますが、旭川天文同好会の例会で補足させていただければ幸いです。

火星衛星探査前夜

～私たちはなぜ火星の衛星へ向かうのか～

松岡 亮 / Matsuoka N. Ryo
(北海道大学理学研究院地球惑星科学部門・
旭川市科学館特別学芸員)

1 イントロダクション

「はやぶさ」シリーズに代表されるサンプルリターン技術は、日本の惑星探査におけるお家芸ともいえる高度技術だ。2 度の劇的な探査の末に地球近傍小惑星 Itokawa・Ryugu の地質サンプルを手に入れた今、次なる対象として火星の衛星に熱い視線が向けられている。そしてそれは、JAXA の次世代サンプルリターン計画、火星衛星探査計画 (Martian Moons eXploration; MMX) として結実しつつある。

MMX の目的は、火星の衛星 Phobos・Deimos の近接探査、ならびに Phobos 土壌のサンプルリターンを行うことにある。MMX では、この目的を実現するために、次世代ロケットである H3 ロケットの強大な推進力の助けを借りて 3.4 t もの最重量級探査機を火星圏へと送り込む。この大計画は、2026 年の打ち上げを目前に現在も進行中である。

日本のようなリソースの限られた国家にとって、MMX のような探査計画は一大事業である。これほどの労力を割いてまで、ほかならぬ火星の衛星へ向かうことを決めた理由は何なのであろうか。

本稿は、この疑問に対して、サイエンスの面からの解答を試みるものである。それは、私たち人類のありがたい未来へ向かうための意思決定の根拠であり、探査立案の哲学とでもいうべきものである。その根底には、私たちの成り立ちに関係した、地球科学・惑星科学・宇宙科学に横たわる大きな問題が存在しており、あまり自明ではない隠れた次元において、火星の衛星の起源論と深く結びついている。

本稿の構成について述べる。第 2 節は、水惑星問題とでも呼ぶべき MMX 立案の根底にある問題を提示するために、惑星形成論の基礎を紹介するものである。第 3 節では、火星の衛星へ向かう意義を共有するための準備として、火星の衛星についてすでに観測で分かっていることをレビューする。第 4, 5 節は、

水惑星問題に関連するテーマである火星の衛星の起源論に関する説明を行う。特に、第 5 節は筆者の最新の研究について、いくつかのエピソードを交えつつ紹介するものである。第 6 節では、MMX のミッション機器とその役割について紹介する。この節により、MMX を通じていかに私たちの目的が達成されるかについて明らかになり、第 7 節の結びへと接続される。

本稿には、筆者の研究紹介の箇所を中心に数式がいくつか登場するが、これらを流し読みしても、本稿の大筋は理解できるだろう。また、より詳細な数理的説明を求める読者のために、本稿の最後に「数学・物理ノート」と題する付録を付した。この部分における数式は、高校修了～大学理系初年度レベルを仮定している。筆者の思考の現身であるこの節を読み解くことにより、読者は研究の追体験ができるかもしれない。

2 惑星形成論の基礎

ここでは、MMX の意義を理解するために必要な基礎知識である、惑星の形成過程についておさらいする。そして、惑星形成論における一つの大きな問題—水惑星問題を提示する。なお、惑星形成論の基礎的な内容は、例えば井田 & 中本 (2015) や松井ほか (2011) に詳しい。

2.1 惑星の材料:コンドライト

隕石は、惑星形成論の教科書とでも呼ぶべき岩石である。私たちは、隕石から多くを学び取ってきた。石質隕石の一種で、落下隕石の全体のうち 9 割弱を占めるグループであるコンドライト (chondrite) は、以下に示す様々な傍証から、惑星の材料物質の状態をよく保存した岩石であると目されている。

組成 コンドライトの金属鉄と岩石成分の比は地球型惑星におけるそれらの組成比、すなわちコアとマントルの比に近い。また、それらが共存していることは、密度による分別(重力下での熔融)を経ておらず、形成時の状態を保持していることを暗示している。

組織 コンドライトの、ダストやその溶融物が集積した原始的な組織は、変質・再結晶してしまうほどの高温に晒されていないこと、すなわち形成時の状態を保持していることを期待させる。



(a) Phobos



(b) Deimos

図 1: 火星の衛星の姿 (NASA/JPL-Caltech/The University of Arizona). いずれも Mars Reconnaissance Orbiter 探査機搭載の HiRISE による IRB 疑似カラー画像 (Phobos: PSP_007769_9010, 2008 年 3 月 21 日撮影; Deimos: ESP_012065_9000, 2009 年 2 月 21 日撮影). Phobos 画像右側の巨大なクレーターが Stickney クレーターである. PBU (第 3.2.3 節参照) はその近傍の青白い領域として観察できる.

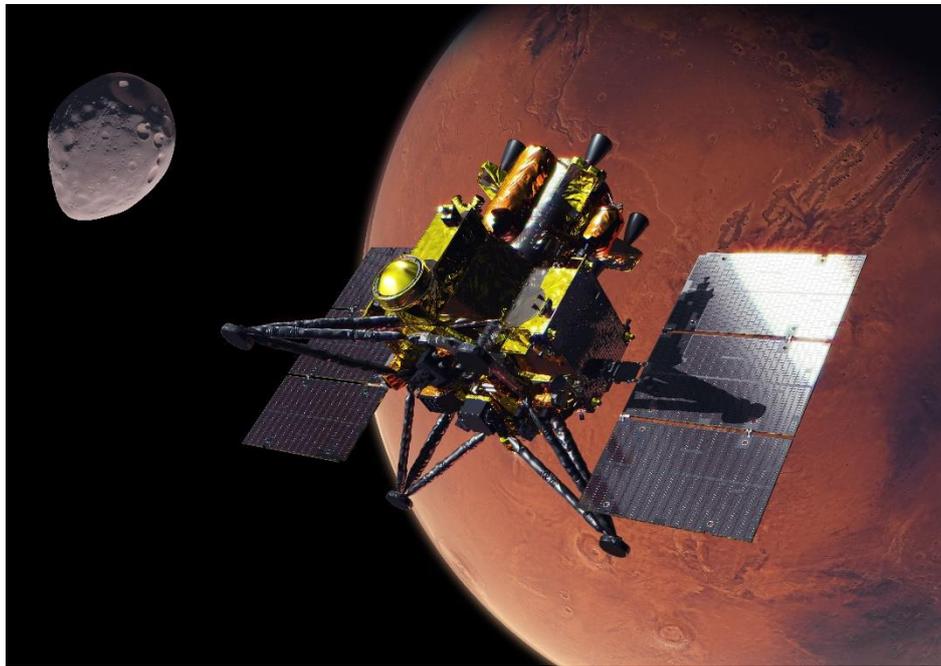


図 2: 火星衛星探査計画 MMX の想像図 (JAXA).

年代 放射性同位体やその娘核種を用いて推定されたコンドライトの形成年代は 45 億年であり, 地球で報告されている最古の鉱物 (~43 億年) よりも著しく古い.

コンドライトの全体組成が, 揮発性が極めて高い元素 (水素など) を除き, スペクトルから得られる太陽組成とほぼ同じであることも注目に値する (図 3). このことは, これらが共通するシステムから分化したことを意味する. 惑星の起源は, コンドライト中のダストを通じて, 太陽の起源とリンクしている. 若い星の観測的制

約の助けを借りながら, 惑星形成を星形成の中に位置づけよう.

2.2 原始太陽系円盤の形成

種々の観測から, 恒星は星間ガスの濃密な塊である分子雲コア (molecular cloud core) から生まれると考えられている. 分子雲コアは, サイズが 1–0.1 光年程度と恒星よりも数桁大きいものの, 恒星程度の質量を持ち, 自己重力により内向きに崩壊することで恒星へ進化すると期待される. 崩壊のタイムスケールは

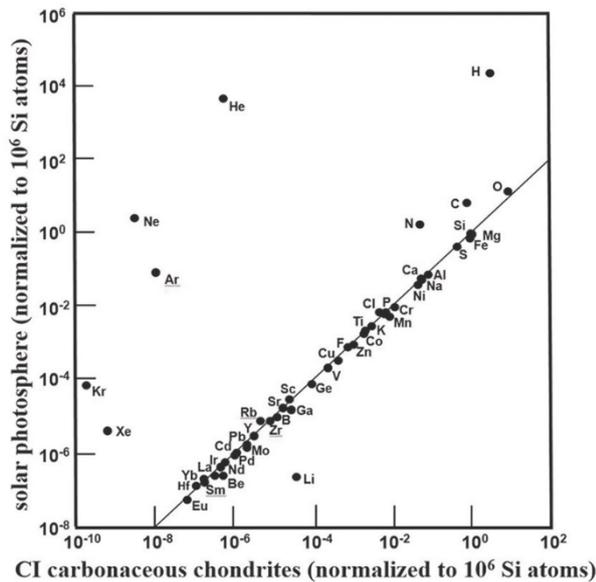


図 3: コンドライト(横軸)と太陽(縦軸)の元素存在度対数グラフ (Rubin & Ma 2021). 各軸の元素存在度はケイ素原子 100 万個あたりの原子数でプロットされている。揮発性の高い元素を除き、コンドライトと太陽の元素存在度は $y = x$ に乗る(右下の直線)。

自由落下時間程度 (~10 万年) である。

宇宙に回転していないものは無い。分子雲コアの回転はわずかなものであるが、この回転運動は、その後の進化の様子に決定的な影響を及ぼす。物理系の時間発展を議論する際に、時間不変な特徴である保存量に着目することは有用である。回転運動では、そこに働く力が中心へ向かう力のみである場合に、**角運動量** (angular momentum) \vec{l} という保存量が存在することが知られている (**角運動量保存則**; conservation law of—)。角運動量はベクトル量であり、その大きさは「回転の勢い」を表す。角運動量の単位質量当たりの大きさは

$$|\vec{l}| = Rv \quad (1)$$

と表される。ここで、 R は回転半径、 v は回転速度(回転の腕に垂直な速度成分)である。また、角運動量の方向は回転軸に沿っており、回転を地球回転に合わせたときの北極方向にある。例えば、旭川常盤ロータリーを 10 m/s ($= 36 \text{ km/h}$) で進む車が持つ角運動量の大きさは、ロータリー中心から車の重心までの距離が 30 m であるとする、 $30 \text{ m} \times 10 \text{ m/s} = 300 \text{ m}^2/\text{s}$ となる。そして角運動量の向きは鉛直下向きである。角運動量保存則は、その大きさに着目すれば「回転半径が $1/2, 1/3, \dots$ 倍となると、回転速度は $2, 3, \dots$ 倍になる」とも言える。旭川市科学館サイパルの「星の回転」コーナーは、回転台に乗って回転運動を体感するというもので、角運動量保存則を体

得するのにつけての教材だ。

分子雲コアの崩壊は自己重力により駆動される。半径が小さくなると、自己重力はさらに大きくなる。しかし、角運動量保存的な状況では、半径の縮小は回転速度の上昇を招く。このとき、遠心力の増え方は自己重力のそれよりも大きい。遠心力は崩壊を阻害する外向きの力であるため、いずれ自己重力と遠心力が釣り合い、崩壊は停止すると予想される。そのときの半径は、典型的な分子雲コアでは ~100 au と計算される。これは太陽系をすっぽりと包む程度の大きさであり (cf. 海王星軌道半径: 30 au), 遠心力により原始太陽へ落下できないガスが周囲に存在したことを示すものである。このガスは、原始太陽周りを公転しながら強い遠心力を受けるために、平板な円盤構造を取ったことだろう。この**原始太陽系円盤** (protosolar disk) は、いわば惑星のゆりかごである (図 4)。

2.3 ダストから惑星へ

中心部へと落下するガスは、周囲のガスとの衝突を通じて運動エネルギーが熱エネルギーへと転換され、 $1 \text{ 万}^\circ\text{C}$ 程度まで加熱される。ガスの中の僅かな固体成分は、蒸発と均質化を免れなかったことだろう。原始太陽系円盤は、均質な組成を持つ高温ガスの状態から歩み始めたと言ってよい。初期の高温円盤は、外部への放射でエネルギーを失うと、原始太陽からの距離に応じた温度分布、すなわち太陽に近いほど高温であるような温度分布へと緩和する。円盤の各地で、その場の温度では気体として安定に存在できない成分が結晶化し、ダストが生じる。かんらん石



図 4: 十分に冷却した後の原始太陽系円盤の想像図 (A. Angelich/ALMA). 円盤の冷却の結果として生じるダスト分布の二分性を強調して描いている (第 2.3 節参照)。

などのケイ酸塩鉱物は揮発性に乏しいため、このような成分からなるダストはほとんどの領域で誕生したことだろう。一方、太陽から十分に離れた領域では水もダストとなる。これは、水素、ヘリウムに次いで酸素が多いという太陽組成と関係している。原始太陽系円盤は、水が氷ダストとして存在する外側領域と、そうではない内側領域に分かれていたことだろう。これらの境界線を**スノーライン** (snowline) と呼ぶ(図4)。標準的な円盤モデルでは、スノーラインは現在の火星と木星の間あたり (~ 3 au) にあったと考えられている。太陽系元素存在度は、ダストの総質量に、水素・ヘリウムからなる円盤ガスに対して 1%程度という制限を与える。系に占めるダストの量は僅かではあるものの、その歩む先は、惑星たちへと続いている。

コンドライトの組織は、ダストが寄り集まった、惑星へ至るまでの中間体のような天体があったことを物語る。事実、十分に濃密なダストの雲は、自己重力で分裂・崩壊し、ダストが寄り集まった固体天体へと進化したことだろう。そのサイズは、太陽重力と自己重力の兼ね合いで決まり、一声キロメートルサイズと推定される。この仮想的な固体天体、**微惑星** (planetesimal) は円盤の至る所で誕生し、スノーラインより外側では**氷微惑星** (icy planetesimal)、内側では**岩石微惑星** (rocky planetesimal) となったはずだ。この二分性は、微惑星の構成岩石であるコンドライトや、微惑星の名残と考えられる小天体の分類からも見て取れる。すなわち、揮発性成分に富み低温環境で生まれたと考えられる**炭素質コンドライト** (carbonaceous chondrite) や、炭素質小惑星の C, D 型小惑星、氷からなる彗星は氷微惑星に対応し、揮発性成分に乏しく高温環境で生まれたと考えられる**非炭素質コンドライト** (non-carbonaceous chondrite) や、岩石質小惑星の S 型小惑星は岩石微惑星に対応する。

微惑星はその慣性の大きさのために、周囲のガスからの抵抗の影響は軽微であり、その運動は短期的には太陽重力でよく記述される。微惑星の描く軌道はほとんど楕円軌道だ。楕円軌道にある微惑星は、他の微惑星の軌道と交差し、衝突合体を通じた成長が可能である。成長は断面積の増大をもたらし、これはさらに微惑星の衝突確率を上げる。結果として、成長自体が成長を速める効果を持つ。また、微惑星が大きくなると、重力で周囲の微惑星を引き寄せる効果

も効き、**暴走成長** (runaway growth) という劇的な成長モードに入る。ひとたび暴走成長が始まると、周囲の微惑星が枯渇するまで止まることはない。

微惑星の衝突と成長を模擬した数値シミュレーションによれば、暴走成長を経て**原始惑星** (protoplanet) が形成される。スノーライン以遠では、地球質量より大きな、氷からなる原始惑星が生じる。この巨大氷原始惑星は、やがて強い重力で周囲のガスを降着してガス惑星への道を歩み始める。ガス降着は円盤ガスの消失(円盤冷却開始から高々1000 万年以内)まで続く。現在のガス惑星の質量の違いはガス降着可能質量に到達した時期の違いを暗示する。一方、スノーラインより内側では、火星質量 (~0.1 地球質量) 程度の岩石原始惑星が多数形成される。円盤ガスの消失後、これらの岩石原始惑星は互いの重力で軌道不安定を引き起こし、衝突合体を通じて大きな岩石惑星(地球や金星)が形成される。月は、このような衝突でばら撒かれた物質から生じたと考えられている(**ジャイアント・インパクト仮説**)。水星は衝突時に破壊のほうが卓越したために小さな惑星となったのかもしれない。また、火星はこのような大規模な衝突を経験せずに生き残った原始惑星であるかもしれない。

2.4 水惑星問題

これまで説明した標準的な惑星形成論は、「内側に岩石惑星があり外側にガス惑星がある」という現在の太陽系の惑星分布を、円盤ガスの温度構造という自然な性質の帰結として見事に説明した。しかしながら、地球や過去の火星に少量の水(地球の場合、質量にして 0.01%以上)が存在することの説明には適さない。岩石惑星、すなわち地球型惑星の形成領域に相当する領域はスノーラインより内側であり、惑星の材料である微惑星に氷を含むことを許容するほど低温ではなかったからである。水を含む地球型惑星が形成されることの不整合は、スノーラインをまたいだ氷微惑星の供給を要求しているように見える。

このことを説明する一つの単純な機構として、円盤ガス抵抗が挙げられる。微惑星と円盤ガスには相対速度が必ず発生し、微惑星には僅かながらにガス抵抗が働き続ける。このガス抵抗による微惑星の力学的エネルギーの低下は、微惑星の軌道半径の縮小を招くため、氷微惑星移動機構として適しているよ

うに見える。しかし、その大きさは 100 万年で 0.1 au のオーダーである。氷微惑星がスノーラインをまたいで地球型惑星領域内へ充分に入り込めるほど、原始太陽系円盤は長命ではない。

一方、近年、多くのモデルで木星や土星による氷微惑星の重力散乱が議論されており (e.g. Raymond et al. 2006, 2009, Walsh et al. 2011), 氷微惑星が地球型惑星領域へジャンプする可能性がある。ただし、初期の木星・土星の位置や形成時期の理解は乏しく、モデルの制約、すなわち地球や火星へ水を供給した氷微惑星がいつ・どこから来たのかを議論する段階には至っていない。モデルを評価するための物的な判断材料に欠けているのが、いまの惑星科学の現状である。しかし、火星の衛星はこの問題に光を当てる可能性がある。次節では、限定的ではありながらも度重なる火星探査のたびに得られてきた火星の衛星の特徴をまとめ、その性質から予測される水惑星形成過程との関わりを述べる。

3 火星の衛星の特徴

本節では、火星の衛星の特徴をまとめる。これまで得られてきた火星の衛星に関するデータは、その取得過程により大きく制限されている。はじめに、火星の衛星の観測の歴史について概観しよう。

3.1 火星衛星観測・探査史

17 世紀の Galileo の時代から、火星の衛星を発見することは天文学の大きな目標の一つであった。火星の衛星の発見の困難は、衛星本体が暗いことに加え、明るい火星のすぐそばに位置していることにある。1846 年に海王星とその衛星 Triton が発見されてもなお、火星の衛星は未発見のままであった。火星の衛星、Phobos・Deimos の発見は、1877 年夏の火星大接近まで待たなければならない。それは、Hall による米海軍天文台 26 インチ屈折望遠鏡を用いた注意深い眼視探索によりなされた (Hall 1878)。火星の衛星の発見と報告には、観測データの解析といった実務的な側面でも心理的な側面でも、Hall の妻 Stickney の尽力があったことが彼の手記に記されている。

火星の衛星の観測は、長らく地表からの望遠鏡観測にとどまっており、軌道と明るさ以上の情報は得られてこなかった。現在の私たちの火星の衛星の知識は、火星探査によるところが大きい。

はじめて火星の衛星と対峙した探査機は、1969 年に火星に接近したアメリカの Mariner-7 探査機である。この探査機は、姉妹機である Mariner-6 とともに人類二度目の火星フライバイを行った探査機だ。Mariner-7 は、火星の赤道上空からの観測で、Syrtis 台地が写るフレームの端に Phobos を初めてとらえることに成功した (図 5)。得られたのは数ピクセル大のシルエットであったが、これは人類が初めて間近に目にした小天体の姿であった。Phobos の大きさ・形状に加え Phobos が火星地表面と比べて極めて暗いことを明らかにした点でも、画期的な観測結果であった。

その 6 年後に火星圏を探査したアメリカの Viking-1, 2 は、それぞれが着陸機と周回機のセットからなり、着陸機は火星生命探査の役目を担った野心的な探査機であった。2 つの周回機は火星の赤道面上に軌道を持ち、Phobos, Deimos 両衛星の詳細な観測に成功した。両衛星の高解像写真のみならず、質量推定やスペクトル取得が行われ、衛星構成物質に迫るデータを提供した。

1988 年に火星接近を目指したソ連の Phobos-1, 2 両探査機は、人類による初の「火星衛星」探査ミッションである。Phobos の近接観測と着陸機投下を目指す難易度の高いミッションであった。Phobos-1 は火星へ至るまでの惑星間空間で通信途絶、Phobos-2 は Phobos への接近中に通信途絶した。しかしその接近中に、Phobos の分光特徴が地理的二分性を持つことを示すデータを取得しており、Phobos の起源や内部構造の洞察を深める貴重なデータをもたらした。

現在得られている火星の衛星の最良なデータは、

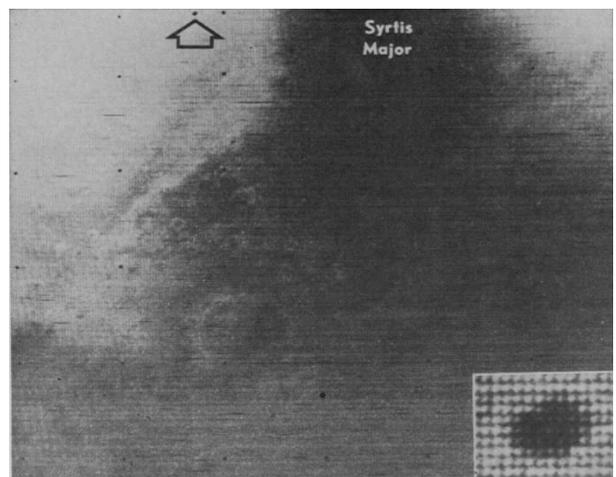


図 5: 人類が初めて間近にとらえた Phobos の姿 (Smith 1970)。Mariner-7 探査機による撮影 (フレーム 7F91)。Phobos のいびつな形や、火星地表面に対して暗いことが見て取れる。

火星地表面の観測を目的とした Mars Express (欧州, 2003-) と Mars Reconnaissance Orbiter (アメリカ, 2006-) によるところが大きい。これらの探査機は様々な波長域で両衛星を撮影し、高解像度・高波長分解能で、地理的情報とスペクトル情報を結び付けた議論を可能としている。

しかし、この時点まででデータを取得した主たる探査機は、火星の衛星にミッションの主眼が置かれていない「火星探査機」である。ミッション機器が火星の衛星に最適化されていないために、私たちの両衛星に対する知識は間接的で限定的なものであった。こういった事情から、2011 年には、両衛星の近接観測と Phobos 土壌試料のサンプルリターンを目的とした Phobos-Grunt 探査機がロシアにより打ち上げられた。しかし、Phobos-Grunt は地球周回軌道の離脱に失敗し、結局のところ、2024 年現在でも成功した火星衛星探査ミッションは存在していない。私たちの火星の衛星の理解を深めるために、2026 年打ち上げの、日本の火星衛星探査計画 MMX (Martian Moons eXploration) による探査が待ち望まれている。MMX は両衛星の近接観測と Phobos 土壌試料のサンプルリターンをミッション目標として掲げている。

3.2 火星の衛星の理解の現状

本節では、限定的ではあるものの、これまでの様々な観測・探査で得られてきた火星の衛星に関する

情報を概観する。火星の衛星に関する諸量は表 1 にまとめた。

3.2.1 軌道特徴

両衛星は数火星半径以内に収まるコンパクトな軌道を有している。その軌道形状は真円に近く(軌道離心率 $e < 0.02$)、火星赤道面に沿っている(軌道傾斜角 $i < 2^\circ$)。また、Phobos と Deimos はそれぞれ、火星の自転周期と衛星公転周期が一致する共回転半径 (co-rotational radius)¹ の内外に位置している。

Phobos の軌道周期は徐々に短くなっている。このことは、地上望遠鏡や探査機による観測で古くから認識され、興味が持たれてきた。これは、共回転半径の内側にいる Phobos が、火星の潮汐の結果として僅かに内側へと落下していくことの帰結である。Deimos は共回転半径の外側に位置するため、Phobos とは反対に外側移動することが理論的に予測されている。しかし、受ける潮汐力が Phobos よりも小さく外側移動も僅かであるために、人類はその検出のための観測精度に到達していない。潮汐による軌道進化から、過去に両衛星は共回転半径付近にいたことが想像される (Burns 1992)。

3.2.2 形態的特徴

両衛星は、いずれもサイズが 10–20 km 程度の非常に小さな衛星であり、不規則な形状と多数のクレーターに覆われた表面が火星探査機により捉えられてきた (図 1)。クレーター密度は両衛星の年代が最

表 1: 火星の衛星の諸量。

	Phobos	Deimos
近似楕円体の三軸直径 [km]	26.06 × 22.80 × 18.28 ^{*a}	15.6 × 12.0 × 10.2 ^{*b}
質量 [10^{16} kg]	1.0626 ± 0.0006 ^{*c}	0.151 ± 0.005 ^{*c}
密度 [g/cm ³]	1.860 ± 0.013 ^{*a}	1.490 ± 0.190 ^{*d}
反射率 (0.54 μm 幾何アルベド)	0.071 ± 0.012 ^{*e}	0.068 ± 0.007 ^{*f}
軌道長半径 [km]	9375 (2.76 r_M) ^{*g}	23458 (6.92 r_M) ^{*g}
軌道離心率	0.01511 ^{*g}	0.00027 ^{*g}
軌道傾斜角 [°]	1.076 ^{*g}	1.789 ^{*g}

^{*a} Willner *et al.* (2014).

^{*b} Thomas (1993).

^{*c} Jacobson (2010).

^{*d} 質量は Jacobson (2010)、体積は Thomas (1993) による。

^{*e} Simonelli *et al.* (1998).

^{*f} Thomas *et al.* (1996).

^{*g} Jacobson & Lainey (2014).

¹ 地球で言うところの静止軌道に相当する軌道半径。6 火星半径のところにある。



図 6: 火星上空の Phobos (Neukum et al. /Mars Express/DLR/ESA). Mars Express 探査機搭載の HRSC カメラによる撮影画像 (Orbit 7982, 2010 年 3 月 26 日撮影). 背景に横たわる火星地表面に対して, Phobos が極めて暗い様子が見て取れる.

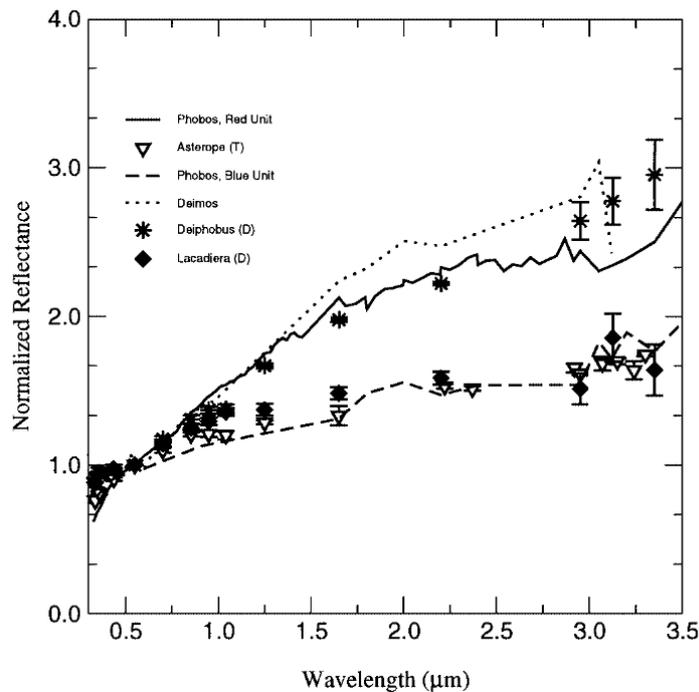


図 7: 火星の衛星と D, T 型小惑星の反射スペクトルの比較 (Rivkin et al. 2002). 横軸は波長, 縦軸は規格化反射率(基準:波長 550 nm の反射率)である. 線は火星の衛星, 点はそれに類似する D, T 型小惑星のスペクトルを表す.

低でも 40 億年程度であることを示す (Schmedemann et al. 2014). また, 火星周回機の衛星接近時の軌道変化から質量推定がなされ, 形状モデルに基づく体積の推定値と合わせて両衛星の密度が得られてきた. その値はラブルパイル小惑星に匹敵するか, あるいはそれ以下の値を示す (cf. Itokawa: 1.9 g/cm^3). この低い密度は, 氷や有機物などの軽い物質の存在や, 内部の高い空隙率を示唆している.

3.2.3 反射率とスペクトル

両衛星の反射率は 7%程度と, 火星表面のその 15%という値と比較して著しく低い(図 6). このことは後述するスペクトルの特徴と合わせて両衛星が炭素

質組成を持つことと調和的である.

両衛星の反射スペクトルは, 小惑星との類似性を示す(図 7). Phobos と Deimos は全体的に赤みがかかった(長波長成分の反射率が相対的に高い) D 型小惑星に類似するスペクトルを有し, Phobos 最大のクレーターの Stickney 近傍にはスペクトル傾斜がより小さい, 青みがかかった(短波長成分の反射率が比較的高い)領域も認められる(図 1). この領域は Phobos 青領域 (Phobos blue unit; PBU) として区別され, 小惑星分類でいえば T 型小惑星によく似たスペクトルを示す. Phobos 青領域以外の D 型小惑星に類似したスペクトルを有する領域は, 対比的に Phobos 赤領域

(Phobos red unit; PRU) と呼ばれている (Rivkin et al. 2002). このような Phobos の分光学的二分性の解釈には様々な議論がある (e.g. Basilevsky et al. 2014).

D 型小惑星はメインベルト外縁部以遠に多い小惑星タイプで、T 型小惑星はメインベルト内縁部に存在する比較的珍しい小惑星タイプである。これらはいずれも低反射率の小惑星であり、その点も両衛星の特徴と一致している。スペクトル特徴に乏しいこれらのタイプの小惑星は、詳細な組成が明らかではないが、炭素質コンドライト、特に Tagish-Lake 隕石に類似した組成を有すると考えられている (Hiroi et al. 2001, Hiroi & Hasegawa 2003). なお、D、T 型小惑星には含水鉱物の存在を示す吸収帯特徴を認めるものが存在し、両衛星のスペクトルにも 2.8 μm 、0.65 μm 含水鉱物特徴が検出されている (Fraeman et al. 2014). このような吸収帯特徴も、含水鉱物に富む炭素質コンドライト的組成であるという両衛星の描像と一致する。

3.2.4 火星の衛星の特徴が示唆するもの

火星の衛星が地球型惑星領域にある古い炭素質小天体であるという見方は、地球型惑星へ水を供給した氷微惑星の化石であるという解釈を引き出す。惑星形成期から地球型惑星領域に存在していた可能性がある小天体は、火星の衛星の他には存在しない²。火星の衛星は、私たちを生命や地球型惑星の成り立ちへと誘う可能性を秘めた天体であると言える。

4 火星衛星の起源論

火星の衛星の起源は、地球型惑星の水の起源と密接に関係するかもしれない。そして衛星起源シナリオは、これまで得られてきた火星の衛星の種々の特徴と適合するものでなければならない。両衛星の分光学が描き出す炭素質コンドライト的描像は、サイズや不規則な形状とともに、太陽周回軌道にあった小惑星・微惑星が火星重力に捕らえられて衛星になったとする**捕獲説** (capture theory) を支持している。

4.1 捕獲の機構

そもそも、捕獲とはどのような機構なのであろうか。エネルギーが保存する状況では、捕獲による衛星形成は起こらない。火星の重力圏外から飛来する天体

は、火星重力を振り切るほどの力学的エネルギーを有するため、火星接近後に火星の重力圏外へと帰らなければならないのである。捕獲には天体の力学的エネルギーを減ずる機構が必要だ。このことは、惑星探査機の運用にも見ることができる。探査機が太陽周回軌道から惑星周回軌道へ移行するとき、探査機は惑星の重力圏内で逆噴射により力学的エネルギーを減じる必要がある。

火星の衛星において有望視されてきたエネルギー減衰機構は、火星大気によるガス抵抗である。ここでいう火星大気とは、現在のそのような薄いものではなく、原始太陽系円盤が存在したところに原始火星が有していた**原始大気** (proto-atmosphere) のことである。これは、周囲の円盤ガスを重力でトラップして保持されている、自身の重力圏内にわたる濃密なガス層である。原始大気は、円盤内で形成された月質量より大きな固体天体では必然的なものである。火星の原始大気は、存在したならば 300 火星半径以上に渡るものであったはずで、火星の衛星を作るのに十分な広がりを持つように見える。原始大気は、ひとたび形成されれば、原始太陽系円盤ガスが散逸するまで保持されていたことだろう。原始大気による捕獲で火星の衛星が形成されたとする説を、**抗力捕獲説** (drag capture theory) という。

4.2 捕獲の難点

火星の衛星の炭素質コンドライト的描像をよく説明するように見える捕獲説であるが、火星の衛星の、赤道面に沿った真円に近い軌道は、単純な捕獲とは相いれないように見える。というのも、太陽周回天体は、単純に考えれば火星に対してランダムな傾きを持つ双曲線軌道で接近するはずであり、仮にこれが捕獲を達成しても、衛星軌道は長い楕円の形をした、火星の赤道面とは無関係な高軌道傾斜角軌道となるはずだからだ。赤道面に沿う軌道の実現性については、定量的評価が可能である。そもそも軌道傾斜角とは、軌道の軸が基準軸からどの程度傾くかを表す角度である。ランダムな軌道傾斜角を持つ天体群から、Phobos と Deimos よろしく 2° 未満の軌道傾斜角を持

² 地球型惑星領域には、Itokawa や Ryugu といった地球近傍小惑星も存在している。しかし、これらは周囲の惑星の重力の影響を受け、たかだか 1 億年程度の寿命しかない。このことは、地球近傍小惑星がごく

最近メインベルトから飛来した天体であることを意味している。これらの天体は、惑星形成期には地球型惑星とは無関係な領域に位置していたはずだ。

つ天体を偶然に捕獲する確率 $P_{<2^\circ}$ は、ランダムに向いた軸の中で基準軸から 2° 未満となるものを選ぶ確率と等しい。軸の長さは議論とは無関係であるため、これをそろえて束ね上げれば、求めるべき確率は球面のうち北緯 88 度よりも北にある領域の面積の割合と等しいことがわかる。積分計算でこれを求めると、

$$P_{<2^\circ} = \frac{1 - \cos 2^\circ}{2} \sim 3300 \text{ 分の } 1 \quad (2)$$

となる。このような衛星を 2 つ形成するためには、2 回の独立試行の両方で確率 $P_{<2^\circ}$ を引き当てなければならない。その確率は

$$(P_{<2^\circ})^2 \sim 1000 \text{ 万分の } 1 \quad (3)$$

であり、**年末ジャンボ宝くじの 1 等に匹敵する確率**である³。1000 万個もの仮想的な火星の中で Phobos・Deimos と適合する衛星を有する「当たり」は 1 つしかない。最後まで残り続けた軌道傾斜角の困難は、近年、火星の衛星の**ジャイアント・インパクト起源説** (giant impact theory; Craddock 2011, Rosenblatt et al. 2016, Hyodo et al. 2018) を後押しした。この説は、月の形成と同様、火星への巨大天体衝突によりまき散らされた物質からなる円盤内で、両衛星が形成されたとする説である。火星の衛星の赤道面に沿った軌道のみならず、軌道の真円性、個数、質量を統合的に説明可能な美しい理論である。しかし、このシナリオは衛星物質の加熱が必然的で、その多くは火星マントルに由来する火成岩からなると予想される。衛星物質の起源はさておいても、火星の衛星のスペクトルや反射率から予測される炭素質コンドライト的な組成は熱に弱く、このシナリオとは適合しない。偶然に頼らない低軌道傾斜角衛星の形成機構を要求しながらも、捕獲説は依然として魅力を帯びている。

4.3 Hunten による捕獲理論

第 5 節で筆者による最新の捕獲説を紹介する前に、捕獲説の先行研究をレビューする必要がある。まず、Hunten による初期の研究 (Hunten 1979) を紹介する。この研究は、抗力捕獲説の枠組みで軌道の真円性の困難に挑んだものだった。彼はまず、火星への一度の接近で捕獲されるシナリオを想定し、火星への捕獲条件を調べた。原始大気は火星に近いほど濃密になるため、ある距離で捕獲が起こるために必

要なガス密度を計算したのである。さらに彼は、捕獲後にも衛星が原始大気の内部に軌道を持つために、ガス抵抗を継続的に受け続けることに着目した。このガス抵抗が、捕獲直後の長楕円軌道を数年で真円軌道へと誘うのである。しかし、真円軌道への移行後もガス抵抗でエネルギーを失い、衛星はおよそ数年で火星へと落下する。そのため、どこかでガス抵抗を停止させる必要がある。火星の衛星の形成と消滅が短いタイムスケールでの出来事なら、それが火星集積の歴史にわたり幾度となく起きていたことは十分に考えられる。そして、現在の火星の衛星が、原始大気が散逸するタイミングでたまたま生き残った衛星であるとするのは自然であろう。

ただし、落下タイムスケールから導かれる数年という短い時間の間に、捕獲と大気散逸のタイミングの帳尻合わせを行うことは困難であるように見える。また、衛星落下の問題はさておいても、Hunten のシナリオは現在標準的な円盤モデルでは現実的ではないほどの濃密な大気を要求しており、実際には共回転半径やそれ以遠において捕獲に足るほどのガス抵抗を及ぼさないかもしれない。また、静止した大気からのガス抵抗は角運動量の向きを変えないため、軌道傾斜角の問題は残されたままである。

4.4 佐々木による捕獲理論

Hunten のシナリオにおける捕獲のタイミングの困難に対して光を当てたのが佐々木 晶の研究である (Sasaki 1990)。彼は、現在では**一時捕獲** (temporary capture) として知られている状態に着目した。

一時捕獲については、それなりの頁数を割いて説明する必要がある。それは、小天体が惑星の重力を振り切るためのエネルギーを有していながら、惑星の重力圏内に長期間滞在する状態である。惑星の重力のみを考慮に入れた場合、一時捕獲は起こりえないが、惑星が太陽の周囲を公転していることを考慮することでこのような状況が可能となる。惑星を中心に据えた座標系で議論しよう。 x 軸を太陽から反太陽方向への向きに、 y 軸を惑星の進行方向に、 z 軸をそれと垂直にとることとする (Hill 座標系; Hill's coordinate, 図 8)。Hill 座標系上の物体には、惑星の重力に加え、次のような力が働く：

³ 2023 年の一等当選確率は 2000 万分の 1 だったようである。

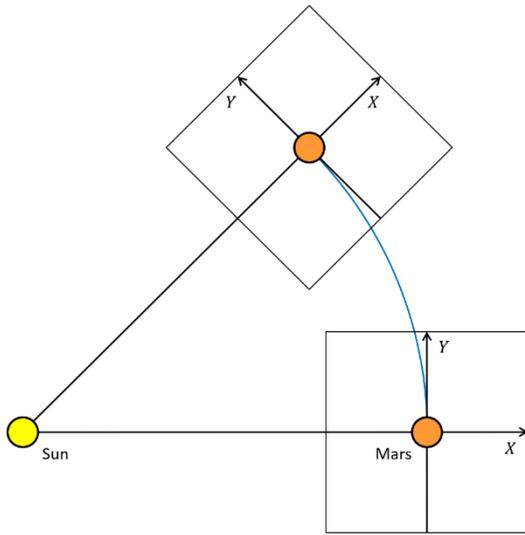


図 8: 火星の軌道運動とともに公転する Hill 座標系の概念図。

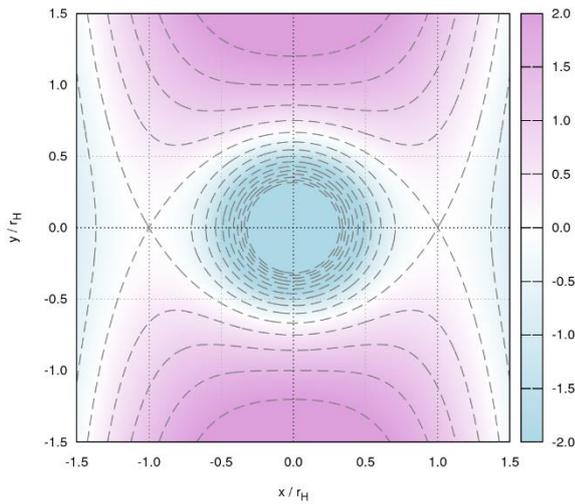


図 9: Hill 座標系上のポテンシャル曲面. $z = 0$ の断面で, 位置エネルギーの大きさをマッピングした. 座標値の単位は Hill 半径 r_H (第 4.4 節参照) である.

太陽重力 常に x の負方向 (太陽方向) の向きを持ち, 太陽に近づけば近づくほど大きくなる.

太陽周囲の公転による遠心力 常に x の正方向 (反太陽方向) の向きを持ち, 太陽から遠ざかれば遠ざかるほど大きくなる.

二つの力は, 物体が惑星と同じ軌道半径に位置するとき, すなわち $x = 0$ において釣り合う. 惑星の円軌道が, 太陽重力と遠心力のつり合いによって保たれていることを思い出せばよい. 太陽重力と遠心力のもとで $x = 0$ からわずかにそれると, いずれかの力が卓越し, $x = 0$ から遠ざかるように力が働く. 二つの力が織りなす場は, 山脈の尾根とよく似ている. $x = 0$ は稜線に相当し, そこから外れた物体は, 稜線から外れるようにころころと転がっていく. 惑星の重力圏は, さながら稜線の真ん中を陣取る蟻地獄の巣のように,

このような力場の中に位置している (図 9).

これまで“山脈の稜線”や“蟻地獄の巣”といったアナロジーを用いて説明したが, これらが実在しているかのように解析することは, 物理的に意味がある. 図 9 のような高さ分布を持つ面 (ポテンシャル曲面; potential surface) を考え, その上で微惑星に見立てたボールがどう運動するかを調べるのである. いま, 面の上のボールの軌跡を直接解析するのではなく, それが存在可能な領域に着目しよう. 面の上のボールには, 面を駆け上がれる限界の高さが存在する (それはボールの力学的エネルギーで決まっている). これとまったく同じように, 小天体が存在できる領域

(許可領域; permitted zone) の境界を, ポテンシャル曲面の等高線で決めることができる. ボールが十分に大きな力学的エネルギーを持つ場合は, 限界の高さは十分に高いから, “蟻地獄の巣”のような小さな凸凹など諸ともせず縦横無尽に運動できるだろう. この運動は, 惑星の重力圏から脱出するような天体のそれに相当する. ところが, 小さな力学的エネルギーのボールの場合 (たとえばポテンシャル曲面の中央付近で小さな速度を持つ場合), 凸凹は無視できず, あるものは“蟻地獄の巣”から駆け上がれなくなる. このことは, 微惑星の許可領域が惑星の近傍に限られることと対応する (図 10). この状態が「微惑星が惑星に束縛されている」ということだ. 束縛されているながらも, 惑星に衝突しない軌道にある天体こそ, 私たちが衛星と呼ぶものだ. 本節の主題である捕獲は, 次のように説明できる; 十分に大きなエネルギーを持つ天体が惑星重力圏内に侵入し, そこでエネルギーが減少して許可領域が有限領域へ制限されることである.

ところで, 束縛と非束縛の境界を与えるものは何であろうか. それは, “蟻地獄の巣”の端の部分乗り越えられるエネルギーを持つか否かで決まる. x 軸上に存在するこの部分は, “峰の斜面”と“蟻地獄の巣の斜面”が合わさることで, “巣の淵の高まり”のうち最も低い点を成しており, 太陽重力や遠心力のアシストを受けて惑星重力圏から最も脱出しやすい点に対応する. この点を **Lagrange 点** (Lagrange points) という. もし力学的エネルギーが Lagrange 点の位置エネルギーを超えていれば, ここを乗り越えて惑星重力圏の内外を行き来できる. 一方, Lagrange 点の位置エネルギーを下回る場合は, 許可領域が Lagrange 点

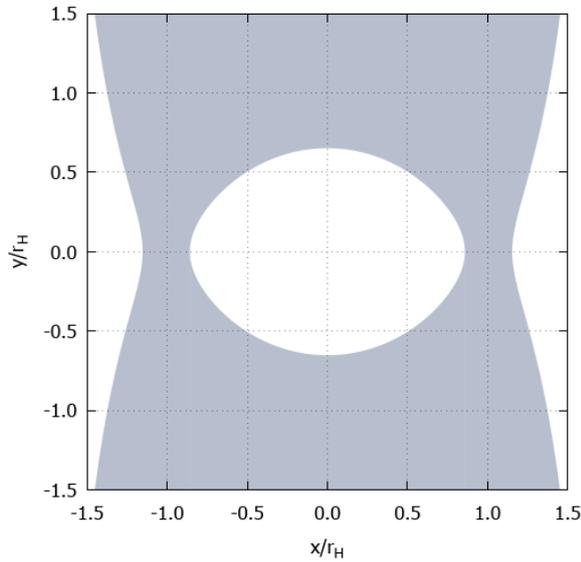


図 10: 束縛されている微惑星の許可領域(白い部分). $z = 0$ の断面を表示したもの. 許可領域が, 原点にある惑星を含む有限の領域に制限されている.

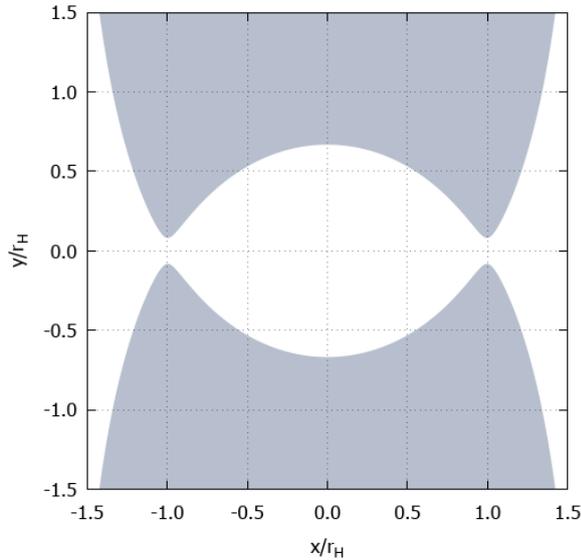


図 11: 力学的エネルギーが小さな正の値である微惑星の許可領域(白い部分). $z = 0$ の断面を表示したもの. 許可領域が, Lagrange 点 $(1, 0), (-1, 0)$ の近傍を通じて, 惑星重力圏の外部へ開かれている.

付近においても制限され, 惑星重力圏内にいる物体は閉じ込められたままである. これは束縛状態である.

いま, 便利のためにエネルギーの基準を Lagrange 点の位置エネルギーに置くこと, すなわち Lagrange 点の位置エネルギーを 0 とおくことにしよう. 力学的エネルギーの正負は非束縛・束縛にそれぞれ対応する. ギリギリ束縛されていない場合, すなわち力学的エネルギーが正の小さな値である微惑星の許可領域を考えてみる. すると, 図 11 のようになることがわかる. いま, 惑星の重力圏の内外を行き来する運動は, Lagrange 点近傍を通じてのみしか行われず, いわば出入り口が限定されている状況となる. このよ

うな微惑星は, 正のエネルギーを持つにもかかわらず, 偶然に Lagrange 点近傍に到るまで脱出することではなく, あたかも衛星として束縛されているかのような運動を強いられる. 許可領域の制限が不完全であるため, この状態は脱出までの一時的なものであることに留意する. この状態は, 束縛状態とは区別して一時捕獲と呼ばれている(図 12). 定義からわかるように, 一時捕獲が起こる条件は天体の力学的エネルギーの値だけで決まっていて, エネルギー散逸機構は必ずしも必要としない. 出入り口の幅が狭くなるための力学的エネルギーを求めると, Lagrange 点からの進入速度 v_0 が一歩 $v_0 \ll r_H \omega_K \sim 114 \text{ m/s}$ であればよい. ここで, r_H, ω_K はそれぞれ, Hill 半径 (Hill radius) と火星の公転角速度, すなわち中心から Lagrange 点までの距離と座標系の回転角速度であり, 火星質量 M , 太陽質量 M_\odot , 火星軌道半径 a と

$$r_H = \sqrt[3]{\frac{1}{3} \frac{M}{M_\odot}} a \sim 316 r_M, \quad (4)$$

$$\omega_K = \sqrt{\frac{GM_\odot}{a^3}} \sim 10^{-7} \text{ s}^{-1} \quad (5)$$

という関係にある. G は万有引力定数, r_M は火星半径である.

佐々木が想定したのは, 原始大気が広がる火星の重力圏内で微惑星の一時捕獲が起きるというシチュエーションである. 一時捕獲中の微惑星は, 火星には数十火星半径の距離までしか接近しないため, 遭遇する大気の密度は低く, ガス抵抗によるエネルギー散逸は穏やかである. このような僅かなエネルギー散逸では, Hunten のシナリオよろしく一度の接近で捕獲が起こるということはない. ところが, 一時捕獲中の微惑星は火星へ何度も接近を繰り返すため, 長期間大気中を運動するうちに, やがて捕獲されることがありうる. 弱いガス抵抗は, 捕獲後の衛星の延命に貢献する. 捕獲後の衛星の寿命は, 標準的な原始太陽系円盤の下で生じる原始大気の内部にあっても, 典型的には数千年である. また, ガス抵抗が作用する時間は十分に長いため, 円軌道の衛星を作る点でも問題はない. いずれにせよ, Hunten のシナリオよりも 3 桁も長い衛星寿命は, 捕獲と大気散逸のタイミングの困難を大きく緩和するのである.

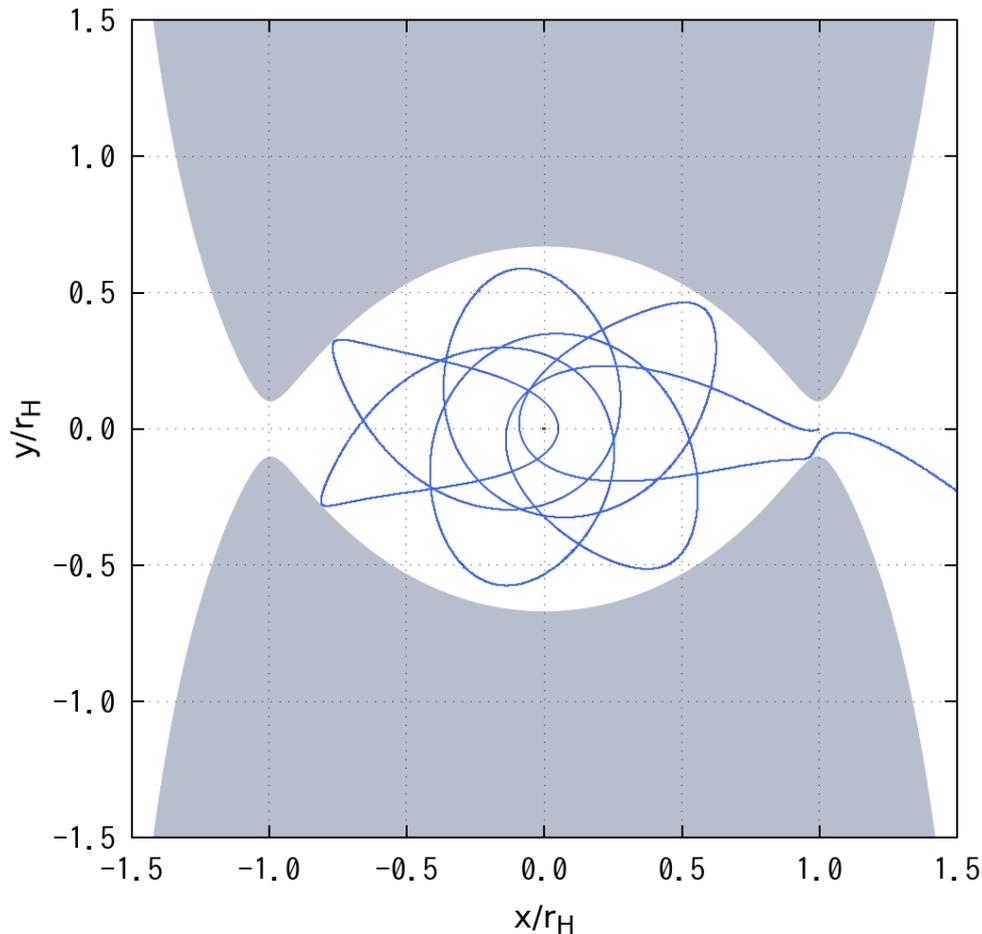


図 12: 火星への一時捕獲. Lagrange 点(図中の $(1, 0)$)から 20 m/s で侵入した微惑星について、ガス抵抗を含めずに軌道シミュレーションを行った一例. 軌道とともに、許可領域の分布も描かれている. この例では、微惑星は火星への接近と許可領域の壁による反射を何度か繰り返し、火星重力圏への進入後、3.15 年で脱出した.

しかし、佐々木の研究は一時捕獲を経由した捕獲の事例を提示したのみであった. 一時捕獲された微惑星が捕獲に至る条件やその確率は未知のままであった. また、佐々木が取り扱った問題は 2 次元問題であったため、軌道傾斜角の問題は依然として残されていた.

5 最新捕獲理論概説

最近筆者は、佐々木の研究を 3 次元計算へと拡張し、軌道傾斜角問題の解決を試みた. また、系統的な数値シミュレーションと解析計算により、一時捕獲天体の捕獲条件と捕獲率を求めた (Matsuoka & Kuramoto, in prep, Matsuoka 2023). この研究は捕獲説を強固とするだけでなく、それが正しかった場合に、地球型惑星の水供給プロセスの中に Phobos・Deimos の起源を位置づけ、両衛星の特性に解釈を与えることを可能とするものとなった. 筆者の研究の内容を、研究時のエピソードを交えながら紹介しよう.

この研究は MMX 以外にもいくつかの研究によって動機づけられたものである:

- 一時捕獲の頻度を見積もった研究 (Higuchi & Ida 2017). 一時捕獲は、ある特定のエネルギーの微惑星が起こす特殊な現象だが、微惑星と惑星の系の軌道計算によればさほど珍しくないようだ. 火星重力圏内に侵入する微惑星のうち、実に 0.02% が一時捕獲される. 火星が多数の微惑星の衝突を通じて成長したことを考慮すると、無視できない割合である. 例えば、火星質量の 1% の成長には、Phobos 質量の微惑星が 60 万個衝突することが必要である.
- 火星形成年代を見積もった研究 (Dauphas & Pourmand 2011, Tang & Dauphas 2014). 火星隕石の同位体分析から明らかになった火星形成年代(原始太陽系円盤の最初のダスト形成の 200 万年後)は、原始太陽系円盤の消失前に火星が成長しきっていたこと、すなわち原始火星

大気が形成されただろうことの物的証拠を提示するものである。

火星の衛星の捕獲説が佐々木の研究から 30 年近く放置されていた一方で、捕獲を可能とする環境が実際に実現したかもしれないことが、周辺分野の研究から明らかになりつつあったのである。

この研究の最初の目論見は、一時捕獲を経由して捕獲された天体が同時に多数あれば、それらの衝突を通じて軌道面が均され、やがて小さな軌道傾斜角になるだろう、というものであった⁴。調べられるべきは、一時捕獲を経由して捕獲された天体の軌道傾斜角⁵

の統計である。ランダムな軌道傾斜角をもつ天体集団からの捕獲であっても、一時捕獲の性質が作用して、捕獲率が軌道傾斜角ごとに異なる可能性は大いにある。そこで、ランダムな軌道傾斜角分布をもつ一時捕獲天体のセットを多数合成するところからスタートした。一般に、物体の運動をシミュレートするには、初期の位置と速度のベクトルを決める。一時捕獲天体は、前述の許可領域の性質から、重力圏への侵入位置が限られる。そこで、初期位置は Lagrange 点に固定する。方程式の対称性から、どちらの Lagrange 点を初期位置としても結果は変わらないが、火星より

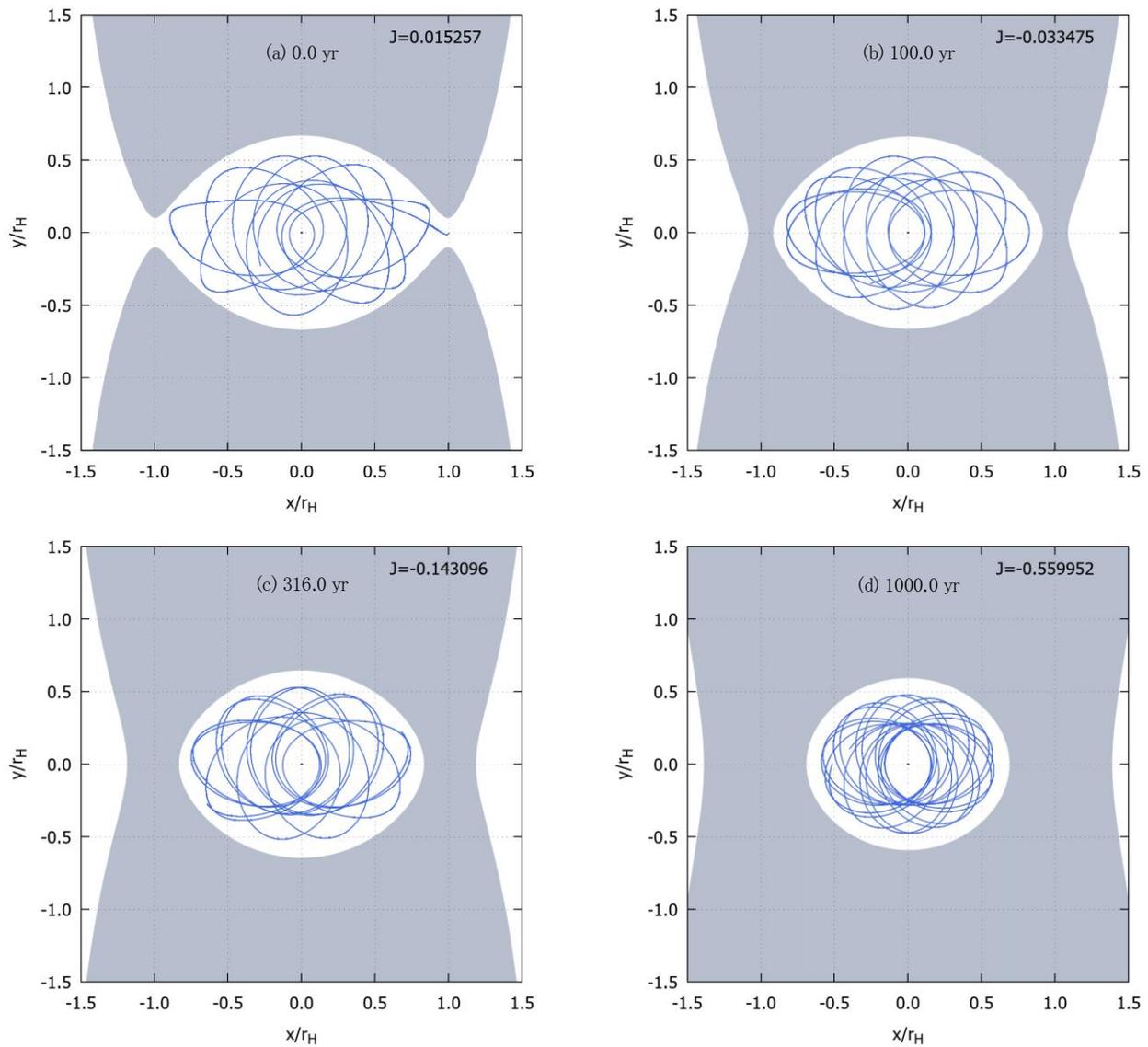


図 13: 一時捕獲微惑星の捕獲. $v_0 = 20 \text{ m/s}$ とする軌道シミュレーションの一例. 各時刻から5年間の軌道と、微惑星の力学的エネルギーに対応する許可領域も描いた. ガス抵抗を受け続けるにしたがって許可領域が縮小し、やがて捕獲が達成される. 捕獲達成後も、持続的なガス抵抗により許可領域は縮小し続ける.

⁴ 筆者が広く並みの確率に賭けるほど博打的な人間ではないことは念押ししておかなければならない。

⁵ ここでいう軌道傾斜角とは、火星軌道面に対するものである。火星の自転軸は、惑星の年齢と比較して極めて短いタイムスケールで大き

くふらつくため、現在の赤道面に対する軌道傾斜角を調べることは悪手である。ひとたび衛星が赤道面に対するある軌道傾斜角で形成されると、火星の自転軸が揺らいでも軌道傾斜角は一定であり続けることが知られている。惑星の自転軸の統計を見るに、初期の火星の赤道面が軌道面に沿っていたとするのはさほど悪くない仮定であろう。

遠方からやってくる微惑星が考慮にあったので、初期位置は反太陽側の Lagrange 点 $(r_H, 0, 0)$ とした。

初期位置が固定されているので、軌道傾斜角のランダムネスは速度ベクトルに委ねられる。一時捕獲が起きそうな速さを数通り与え、そのそれぞれについて、4096 通りの速度方向をランダムに割り振った。このようにして、ランダムな軌道傾斜角分布の天体集団を模擬するのである。計算機は数日かけて用意した全ての初期条件を計算し終え、一時捕獲状態を経て捕獲される例を多数見出した(図 13)。一時捕獲天体の捕獲率は初期速度に依存して、1-10 割程度であった。軌道傾斜角の統計を得るには上々の結果である。しかし、軌道傾斜角分布は驚くべきものであった。いずれの例も軌道傾斜角はランダムな初期値から徐々に減少し、ある小さな値へと収束したのである(図 14)。そしてその結果として、ランダムな軌道傾斜角分布からは単純に説明できないほど桁違いに多くの低軌道傾斜角衛星が生成されたのである。

この結果を素直に信じれば、火星の衛星の捕獲説における軌道傾斜角問題を解決したかのように見えるが、まず疑うべきは、計算プログラムの誤りである。これまでに多くのバグを生み出して苦悩してきた筆者であったので、これを疑うのは当然のことだ。誤りと思われる結果であっても、それをよく観察することは大切である。なぜなら、結果は良くも悪くもプログラム通りの計算から出力されたものであり、誤りの片鱗はそ

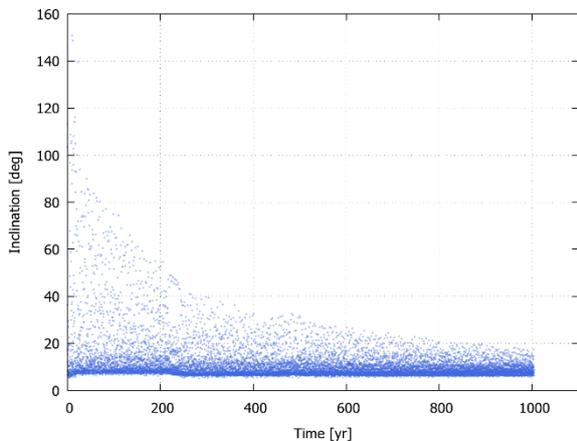


図 14: 一時捕獲状態から捕獲状態に至った微惑星の軌道傾斜角の時間変化。横軸に時間、縦軸に軌道傾斜角を取り、初速度 $v_0 = 20 \text{ m/s}$ 、初期軌道傾斜角 $i_0 = 66.90^\circ$ の一例について、エネルギーが十分に低下するまでの 0.1 年おきの値を図示した。軌道傾斜角は最初、複雑な変動を見せるが、その最小値は一定である。そして時間がたつにつれ、この最小値へと収束するような進化をする。

こに現れるはずだからである。運が良ければ、プログラム修正の糸口が見つかるかもしれない。注意深い観察の結果、出力された結果は、最終的な軌道傾斜角 i が、Lagrange 点における初速度 v_0 に対して

$$i [^\circ] < 0.5 \times v_0 [\text{m/s}] \quad (6)$$

で与えられる単純な傾向を示していた。例えば $v_0 = 20 \text{ m/s}$ であれば、 $i < 0.5 \times 20^\circ = 10^\circ$ という具合である。しかし、傾向を見いだしたまでは良かったものの、プログラムの誤りにつながるような解釈は得られることがなく、結局プログラム全体を確認する羽目になった。そして、1 日にも及ぶ確認の甲斐なく⁶、バグの発見には至らなかったのである。

プログラムが記述された黒い画面を眺めるのにうんざりして、基礎方程式である運動方程式のチェックに取り掛かったとき、Hill 座標系が回転座標系であることを示す図 8 が目に入ったことが洞察のきっかけとなった。何年か前に、回転座標系上で物体がどう回転するかを議論したことを思い出したのである。そのときの結論は、回転座標系の上では回転の強度を表す角運動量を単純に評価することはできない、というものであった。問題の軌道傾斜角は、微惑星自身の軌道角運動量ベクトルの傾きであるとも見なせるため、軌道傾斜角の傾向は回転座標系の影響を考慮に入れなければならない。座標系は z 軸に沿って回転するため、Hill 座標系での初期軌道傾斜角がランダムでも、微惑星が座標系回転に引きずられて、最終的な軌道傾斜角が想定よりも小さくなるかもしれないと予想された。もしこの予想の下で経験式 (6) が証明されれば、この想定外の結果はバグではなく正しい解であると自信を持って言えるようになるだろう。紙とペンによる伝統的な解析計算をこよなく愛する筆者は、水を得た魚のように早速証明に取り掛かった。

図 8 をもう一度眺めると、座標系は慣性系に対して火星の公転角速度 ω_K で回転している。よって、保存すべきは、Hill 座標系上の位置と速度で作られる見かけの角運動量に、座標系の回転の寄与を加えればよさそうだ。角運動量のうち座標系の回転が担うものを**フレーム角運動量** (frame angular momentum)、それと見かけの角運動量との和を**絶対角運動量**

⁶ 筆者のシミュレーションは単純な方程式系で記述されるため、プロ

グラム自体は簡単なものである。不本意ながらも一通りの確認が 1 日で終わるのは幸運なのかもしれない。

(absolute angular momentum) と呼ぶことにしよう。⁷

座標系は火星の公転軸(z軸)を軸として一定の角速度で回転しているため、フレーム角運動量 \vec{l}_{fr} はz軸に沿っている。また火星から水平距離 R 離れたところにおけるフレーム角運動量の大きさは、

$$|\vec{l}_{fr}| = R^2 \omega_K \quad (7)$$

で与えられる。この式は、フレーム角運動量の大きさが水平距離で大きく変化することを意味している。例えば、水平距離が $1/2, 1/3, \dots$ 倍となると、フレーム角運動量の大きさは $1/2^2, 1/3^2, \dots$ 倍となる。一方、見かけの角運動量の初期値 \vec{l}_0 の大きさは、 \vec{v}_0 の向きにより変わるが、いずれにせよ高々 $r_H v_0$ のオーダーだ。

一時捕獲には $v_0 \ll r_H \omega_K$ が必要であるため、初期状態である Lagrange 点(水平距離 r_H)通過時は、見かけの角運動量よりもフレーム角運動量のほうが圧倒的に大きい(図 15 左)。すなわち、絶対角運動量(見かけの角運動量 + フレーム角運動量)は初期の見かけの角運動量に無頓着であり、ほとんどz方向となる。このような絶対角運動量を抱えたまま火星へ接近するとどうなるだろうか。フレーム角運動量は水平距離の減少に伴って急激に小さくなるため、絶対角運動量を保存させるためには、見かけの角運動量がz軸に沿わなければならない(図 15 右)。このことは、一時捕獲天体が火星へ接近すると軌道傾斜角が小さくなることを意味する。「数学・物理ノート」第 A.1 節に証明を譲るが、一時捕獲で期待されるように $v_0 \ll r_H \omega_K$ であるとき、軌道傾斜角は

$$i_{\max} \sim \frac{v_0}{r_H \omega_K} \quad (v_0 \ll r_H \omega_K) \quad (8)$$

を超えることがない。この上限値を度数法に直すと、

$$i_{\max} [^\circ] \sim 0.503 \times v_0 [\text{m/s}] \quad (9)$$

である。これは式(6)の意味することに他ならない。

よって、低軌道傾斜角衛星の形成が間違いないことが示された。 \vec{v}_0 がいかに関数でも、一時捕獲においてはそれが小さいため、絶対角運動量は初期フレーム角運動量 $r_H^2 \omega_K$ に引きずられる。結果として、一時捕獲を経由する捕獲では、初期の軌道傾斜角がいかなる値であっても、低軌道傾斜角衛星の形成

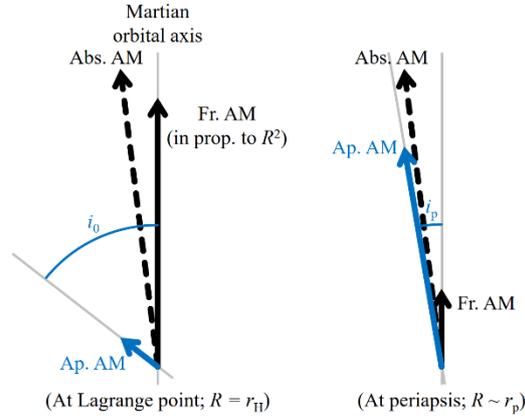


図 15: 一時捕獲微惑星の軌道傾斜角が小さくなること概念図。縦軸を火星の公転軸として、各角運動量ベクトルを図示した。最初、一時捕獲天体の見かけの角運動量(青矢印)は小さく、フレーム角運動量(黒実線矢印、火星公転軸方向)は大きい(左)。絶対角運動量(黒破線矢印)はこれらの和だ。火星接近時は、水平距離が短く、フレーム角運動量は小さい(右)。絶対角運動量の保存性により、見かけの角運動量はほぼ火星の公転軸を向き、小さな軌道傾斜角が達成される。

は必然なのである。長寿命衛星が形成される捕獲様式がこのような特徴を持つことはとても好ましい。

一時捕獲天体に絶対角運動量の重大な寄与があるという事実は、単に軌道傾斜角問題を解決するだけでなく、一時捕獲状態を本質的に特徴付けるものである。例えば、一時捕獲天体が抱えるz軸に沿う絶対角運動量を考慮すれば、遠心力のためにおおむね 50 火星半径以内の領域へ侵入できないことが示される(「数学・物理ノート」第 A.2 節参照)。この値は一時捕獲の近点距離、あるいは捕獲直後の楕円軌道の近点距離を説明する。Hunten のシナリオよりも遠方で起こる捕獲は、一時捕獲を経由した捕獲における長寿命を成立させるための重要な条件であった。

近点距離の見積もりは、一度の接近あたりに失われるエネルギー量の概算を与える。これはやや難しい式であるため、大雑把に近点距離 r_p とともに円盤ガス密度 ρ の関数となることを考慮して $\Delta\epsilon(r_p, \rho)$ と書くことにすると、これは

$$\Delta\epsilon(r_p, \rho) = K\rho \quad (10)$$

と表される(詳細は「数学・物理ノート」第 A.3 節参照のこと)。ここで K は、 r_p を定めると値が決まる定数である。このとき、捕獲条件は、初期エネルギー $E_0 =$

⁷ 本稿では脚注で述べるにとどめるが、本研究の、絶対角運動量の保存性を見出した点には大きな数学的意義がある。Hill 座標系における保存量は力学的エネルギー(Jacobi エネルギー)のみであることが証明されていた。そして、保存量の少なさは Hill 座標系上の軌道の解析を困難にしていた。一方、絶対角運動量は、現実的な議論に

耐える範囲において保存しているように見えるだけの量であり(準保存量)、保存量の唯一性とは矛盾しない。近似的ではあるものの絶対角運動量を保存量と見なす見方は、これまで人力の解析を拒み数値シミュレーションの独壇場であった Hill 座標系上での複雑な軌道に対して、人の手による解釈を与えることを可能としたのである。

$v_0^2/2$ が 0 を下回る条件として⁸, 最低でも

$$N_{\text{cap}} \sim \frac{E_0}{\Delta\epsilon(r_p, \rho)} \sim \beta \frac{v_0^2}{\rho} \quad (11)$$

以上の周回数を達成すること, と定式化できる. ここで $\beta = 2/K$ である. 標準的な円盤ガス密度の下では, $v_0 = 20 \text{ m/s}$ のとき $N_{\text{cap}} \sim 30$ となる.

個々の初期条件がこの周回数を超えるか否かの判定は, 解析的な計算の範疇を超えており, シミュレーションが必要である. しかしこの場合はガス抵抗を含まないシミュレーションの結果を援用できる. なぜなら, 原始大気によるガス抵抗が小さいために, ガス抵抗の有無によらず軌道は似通ったものになるからだ. 事実, v_0 に対して一時捕獲天体の捕獲率がどう変化するかは, ガス抵抗を含まないシミュレーション結果と捕獲条件式 (11) を組み合わせてよく再現される. ガス抵抗を含まないシミュレーションが有効活用できることの意義は大きい. なぜなら, 捕獲率のパラメータの一つである円盤ガス密度は, 太陽系の歴史とともに変化する量であり, その値ごとに愚直にシミュレーションを行うことは計算コストが大きいからだ.

以上のようにして, 円盤ガス密度が与えられたときの v_0 毎の捕獲率を簡単に計算できる. しかし, 微惑星ごとに v_0 は様々であり, 捕獲率からこれ以上有用な結果を引き出すことは難しい. そこで次は, 各円盤ガス密度の下で捕獲された天体が典型的にどのような v_0 を持つかについて議論する. ガス抵抗を含まないシミュレーションから, 一時捕獲では, 経験論的に

$$N = \kappa v_0^{-1.3} \quad (12)$$

という典型的な周回数が可能であることがわかった. ここで κ は比例定数である. いま, 捕獲条件 $N > N_{\text{cap}} \sim \beta v_0^2/\rho$ が満たされるためには,

$$v_0 < C \rho^{1/3.3} \quad (13)$$

であればよい. C は比例定数である. この式は, 小さな ρ では小さな v_0 を持つ微惑星しか捕獲できないことを意味する. この結果は直観に沿うもので計算するまでもないように思われるが, 定量的な見積もりを与えたことに意義がある. 例えば, 円盤ガス密度が 1/10 となると, 捕獲衛星の v_0 の上限が半減することがわかる. この主張を式 (8) と合わせれば, 捕獲衛星の軌道傾斜角の上限も半減することが言える. 結果として, ρ

の低下に従い相対的に低軌道傾斜角の衛星が支配的になることが結論される. 軌道傾斜角が 2° 未満である Phobos や Deimos は, 円盤ガスが消散しつつあるときの「最後の捕獲衛星たち」であるかもしれない.

力学的に特殊である一時捕獲軌道は, 初期条件が限定されている. この限定された初期条件から時間の向きを逆転させることにより, 過去の太陽周回軌道が得られれば, 捕獲前の天体の遍歴を大きく制約できるだろう. 結果として, ある軌道半径にある, 火星に対するエネルギーが典型値よりもやや低い微惑星が, 一時捕獲を経由した捕獲を経験することが分かった. 微惑星の軌道の統計を考慮すると, 一時捕獲を経由した捕獲が潜在的に可能な微惑星は, 当該軌道半径にある微惑星のうち常に数%ほどは存在しただろう. 木星により大きく軌道が歪められた微惑星は, 円盤ガス抵抗の作用により, 100 万年ほどのタイムスケールでこのような軌道へ到達できるようだ. 到達時間は微惑星の軌道が最初にどう歪められたかによりまちまちである. 数十万年未満で到達する微惑星があった一方で, 数百万年かかる微惑星もあっただろう. しかし, 形成時間が 200 万年である火星が成長しきってから, このような微惑星の飛来が続いただろうことは注目に値する. この頃には, 火星軌道周辺に最初から存在していた「現地性の微惑星」は火星へと取り込まれ枯渇していたはずだ. 火星がほとんど成長しきってから飛来するのは, なお次々と供給される「異地性の微惑星」であり, これらの一部は捕獲されたことだろう. 衛星が火星の組成から大きく離れた炭素質組成を持つものばかりであることは一見不思議だが, 上記の議論を総合すると, このことはむしろ当然のこのように思われる.

捕獲説を疑う要素である軌道傾斜角問題が自然に解決されることがわかったいま, Phobos と Deimos が地球型惑星に水をもたらした氷微惑星の生き残りである可能性はやはり十分にあると言えるだろう. しかし, 最終的な結論は, 直接探査の結果を待たなければならぬ. MMX のデータは, 捕獲説が正しいかどうかを確定させ, これまで得られてきた理論的示唆を一つ一つ検証することだろう.

⁸ Lagrange 点での位置エネルギーを 0 としたことを思い出すとよい.

6 火星衛星探査計画

本節では、火星の衛星の直接探査を目指す MMX の科学機器の詳細について述べる。MMX の科学目標は、火星の衛星の起源を明らかにし、水の供給をはじめとする地球型惑星の成立過程を制約することにある。MMX に搭載されている種々の科学機器は、これらの目標を達成するものでなければならない。

Phobos と Deimos は、直接的ではないにせよ、多くの探査が行われてきた天体であるため、MMX に搭載される機器は、これまでと同種のデータであるがより高品質のデータを取得するもの、まったく異なる種類のデータを取得するものの二つに分けられよう。

MMX に搭載される望遠カメラ TENGOO (天狗) は、これまでの火星探査では叶わなかった近距離接近軌道を活かして、持ち前の解像度で両衛星の表面地形を詳細に記録することを目的とする。分光カメラ OROCHI (大蛇) が提供するスペクトル画像データは、これまでのスペクトル画像に無い波長帯を含む撮像を行う。特に、含水鉱物による吸収波長帯での撮像は、両衛星が氷微惑星であるかどうかのテストの一つとなる。赤外分光計 MacrOmega は、これまで確度が高くなかった、水による吸収波長帯での高精度スペクトルの取得を目指す。このデータも両衛星が氷微惑星であるかどうかの重要なテストの一つとなる。また、両衛星に著しく接近する MMX の軌道は、高精度な重力測定データをもたらす。それは、単なる質

量推定値の高精度化のみならず、衛星内部の質量分布、すなわち内部構造に迫るものとなる。このデータは、軌道上の水蒸気を検出可能な質量分析装置 MSA のデータと組み合わせることで、衛星内部に氷が残されているかどうかのテストとなるかもしれない。

MMX がもたらすリモートデータのうち、これまでのものと質的に大きく異なるものは、表層の元素組成測定データであろう。それは、これまで得られてきた分光学データとは異なり、より直接的な組成解釈を提供するものである。これを担う機器が、ガンマ線・中性子分光装置 MEGANE (眼鏡) である。MEGANE は、軌道上からガンマ線や中性子のカウントとエネルギー計測を行う。ガンマ線や中性子は、衛星構成物質に宇宙線が照射された際に破碎された原子核から放出されるものである。ガンマ線のエネルギーは、破碎された原子核の種類に応じて異なるため、これを計測すれば衛星構成物質の元素組成が明らかになる。微惑星物質 (コンドライト) と惑星物質 (火成岩) は、ケイ素・マグネシウム・鉄の組成比が異なるため、両衛星が微惑星物質からなるかどうかの確定的な判断材料となる。一方の中性子の測定は、衛星内部に水や含水鉱物が存在するかどうか、すなわち、両衛星が氷微惑星であるかどうかを確定させる。中性子は、その経路にある水素原子により吸収されてしまう。衛星構成物質に水や含水鉱物が含まれるならば、中性子検出量が少ない“影”として捉えられるだろう。

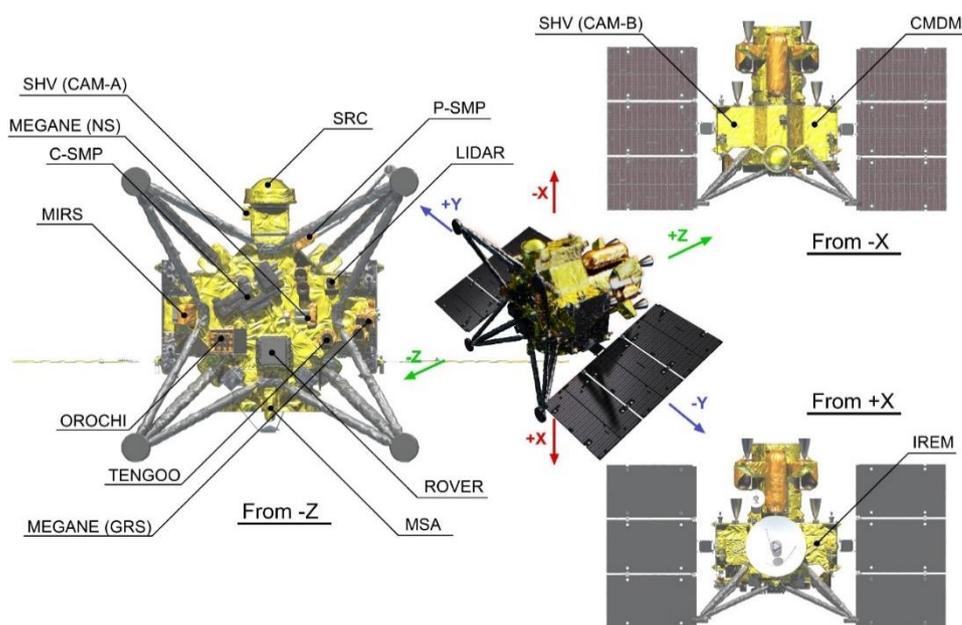


図 16: MMX の機器コンフィギュレーション (JAXA). 着陸脚側 (-Z 方向) に科学ミッション機器が密集している。

サンプルリターンで得られる Phobos 土壌物質は、私たちの火星衛星に関する知識を決定的なものとする。構成粒子の組織分析は、衛星がどのような歴史を辿ってきたかの情報をもたらす。捕獲説が確定的であるならば、衛星の捕獲前のイベント、例えば水質変成イベントや衝撃イベントを覗くことができるかもしれない。また、構成粒子の同位体の測定は、火星の衛星が辿ってきた歴史に、具体的な時空間的情報を与えるような分析を可能とする。捕獲説が確定的であるならば、それは、Phobos がいつ・どこで形成されたのか、あるいはいつ捕獲されたのかを明らかにするものであり、地球型惑星への水の供給過程に対して大きな示唆を与えることだろう。

7 おわりに

これまでの宇宙探査・惑星探査は、それがどんな目的であれ、私たちの常識が通用しない異質な世界を見る旅路であったと思う。Voyager 探査機が送る異形の太陽系天体たちの姿はその典型例だろう。どの惑星世界も私たちには目新しく、冒険心をくすぐられるものであった。しかし、惑星世界の多様性の中にある地球の唯一性は、私たちの世界の異質性を返って浮き彫りにしたはずだ。地球はなぜ「地球」であるのか？ 地球は如何にして「地球」となったのか？ という問いは、地球科学の問題を超えて、惑星科学・宇宙科学に横たわり続けている。

捕獲説が正しいならば、火星の衛星には、地球型惑星の水が、いつ・どこから・どのようにしてもたらされたかについての決定的情報が記されているはずだ。私たちはこのことによく気づいて、火星の衛星の発見から 150 年目の節目を迎える 2027 年、MMX を Phobos へと対峙させる。MMX がもたらす膨大なデータは、豊かな地球観・惑星観をもたらす計り知れない魅力を帯びている。

MMX の先に続く世界は、私たちの眼前に広がる大海のようである。その波打ち際へ一歩踏み出したことで私たちがどう変わるかはまだわからないが、踏み出した歴史こそが私たちをここへ導いてきた。この一歩も、やがてどこかへ導かれていくのだろう。

参考文献

- Basilevsky, A., C. Lorenz, T. Shingareva, J. Head, K. Ramsley & A. Zubarev (2014), “The surface

geology and geomorphology of Phobos”, *Planetary and Space Science*.

- Burns, J. A. (1992), “Contradictory clues as to the origin of the Martian moons”, in Kieffer, H. H., Jakosky, B. M., Snyder, C. W. & Matthews, M. S. eds. *Mars: The University of Arizona Press, Tucson*.
- Craddock, R. A. (2011), “Are Phobos and Deimos the result of a giant impact?”, *Icarus*.
- Dauphas, N. & A. Pourmand (2011), “Hf-W-Th evidence for rapid growth of Mars and its status as a planetary embryo”, *Nature*.
- Fraeman, A., S. Murchie, R. Arvidson, R. Clark, R. Morris, A. Rivkin & F. Vilas (2014), “Spectral absorptions on Phobos and Deimos in the visible/near infrared wavelengths and their compositional constraints”, *Icarus*.
- Hall, A. (1878), “Observations of the satellites of Mars”, *Astronomische Nachrichten*, 91, 11–14.
- Higuchi, A. & S. Ida (2017), “Temporary capture of asteroids by an eccentric planet”, *The Astronomical Journal*.
- Hiroi, T. & S. Hasegawa (2003), “Revisiting the search for the parent body of the Tagish Lake meteorite—case of a T/D asteroid 308 Polyxo”, *Antarctic Meteorite Research*.
- Hiroi, T., M. E. Zolensky & C. M. Pieters (2001), “The Tagish Lake meteorite: A possible sample from a D-type asteroid”, *Science*.
- Hunten, D. M. (1979), “Capture of Phobos and Deimos by protoatmospheric drag”, *Icarus*.
- Hyodo, R., H. Genda, S. Charnoz, F. C. F. Pignatale & P. Rosenblatt (2018), “On the impact origin of Phobos and Deimos. IV. volatile depletion”, *The Astrophysical Journal*.
- Jacobson, R. A. (2010), “The orbits and masses of the Martian satellites and the libration of Phobos”, *The Astronomical Journal*.
- Jacobson, R. & V. Lainey (2014), “Martian satellite orbits and ephemerides”, *Planetary and Space Science*.
- Matsuoka, N. R. (2023), *Origin of Phobos and Deimos: Gas-drag capture of temporary captured*

- bodies, PhD Thesis, Hokkaido University.
- Raymond, S. N., D. P. O’Brien, A. Morbidelli & N. A. Kaib (2009), “Building the terrestrial planets: Constrained accretion in the inner Solar System”, *Icarus*.
 - Raymond, S. N., T. Quinn & J. I. Lunine (2006) “High-resolution simulations of the final assembly of Earth-like planets I. Terrestrial accretion and dynamics”, *Icarus*.
 - Rivkin, A., R. Brown, D. Trilling, J. Bell & J. Plassmann (2002), “Near-infrared spectrophotometry of Phobos and Deimos”, *Icarus*.
 - Rosenblatt, P., S. Charnoz, K. M. Dunseath, M. Terao-Dunseath, A. Trinh, R. Hyodo, H. Genda & S. Toupin (2016), “Accretion of Phobos and Deimos in an extended debris disc stirred by transient moons”, *Nature Geoscience*.
 - Rubin, A. & C. Ma (2021), *References*, 331–378, Cambridge Planetary Science: Cambridge University Press.
 - Sasaki, S. (1990), “Origin of Phobos—aerodynamic drag capture by the primary atmosphere of Mars”, in 21th Lunar and Planetary Science Conference.
 - Schmedemann, N., G. Michael, B. Ivanov, J. Murray & G. Neukum (2014), “The age of Phobos and its largest crater, Stickney”, *Planetary and Space Science*.
 - Simonelli, D. P., M. Wisz, A. Switala, D. Adinolfi, J. Veverka, P. C. Thomas & P. Helfenstein (1998), “Photometric properties of Phobos surface materials from Viking images”, *Icarus*.
 - Smith, B. A. (1970), “Phobos: Preliminary results from Mariner 7”, *Science*.
 - Tang, H. & N. Dauphas (2014), “⁶⁰Fe–⁶⁰Ni chronology of core formation in Mars”, *Earth and Planetary Science Letters*.
 - Thomas, P. (1993), “Gravity, tides, and topography on small satellites and asteroids: Application to surface features of the Martian satellites”, *Icarus*.
 - Thomas, P., D. Adinolfi, P. Helfenstein, D. Simonelli & J. Veverka (1996), “The surface of Deimos: Contribution of materials and processes to

its unique appearance”, *Icarus*.

- Walsh, K. J., A. Morbidelli, S. N. Raymond, D. P. O’Brien & A. M. Mandell (2011), “A low mass for Mars from Jupiter’s early gas-driven migration”, *Nature*.
- Willner, K., X. Shi & J. Oberst (2014), “Phobos’ shape and topography models”, *Planetary and Space Science*.
- 井田 茂 & 中本 泰史 (2015), 惑星形成の物理: 太陽系と系外惑星系の形成論入門, 基本法則から読み解く物理学最前線; 6: 共立出版.
- 松井 孝典ほか [編] (2011), 比較惑星学, 地球惑星科学; 12: 岩波書店.

A 数学・物理ノート

本節では、本文で詳細に触れることができなかった数学・物理について述べる。

A.1 一時捕獲における軌道傾斜角の上限の解析

Lagrange 点における速度 \vec{v}_0 が作り出すランダムな初期見かけ角運動量の、絶対角運動量への寄与の大きさが i の値を決めると思われる。そこで、なるべく大きな寄与を与える場合を考え、 i の上限を見積もる。

初期見かけ角運動量の考察から始めよう。角運動量の定義から、 \vec{v}_0 の x 成分は角運動量を生み出さないため、 i の上限を考察する限り、 \vec{v}_0 の x 成分が 0 の場合のみを対象としてよい。このとき \vec{v}_0 は、初期軌道傾斜角 i_0 を用いて

$$\vec{v}_0 = v_0(\cos i_0 \vec{e}_y + \sin i_0 \vec{e}_z) \quad (14)$$

と表される。 \vec{e}_j は j 方向の単位ベクトルを表す。この \vec{v}_0 により生成される初期見かけ角運動量 \vec{l}_0 は、

$$\vec{l}_0 = r_H \omega_K (-\sin i_0 \vec{e}_y + \cos i_0 \vec{e}_z) \quad (15)$$

である。

水平距離 R におけるフレーム角運動量 \vec{l}_{fr} は、それが座標系の角速度 ω_K の回転に起因するため、

$$\vec{l}_{fr} = R^2 \omega_K \vec{e}_z \quad (16)$$

と書かれる。よって、Lagrange 点と火星接近点 $\vec{r} = (x, y, z)$ における絶対角運動量(すなわち見かけの角運動量とフレーム角運動量の和)を結び付けると、

$$r_H^2 \omega_K \vec{e}_z + r_H \omega_K (-\sin i_0 \vec{e}_y + \cos i_0 \vec{e}_z) \quad (17)$$

$$= (x^2 + y^2) \omega_K \vec{e}_z + \vec{l}(\vec{r})$$

となる。 $\vec{l}(\vec{r})$ は位置 \vec{r} での見かけの角運動量である。

式 (17) の右辺の第一項目は、火星への接近距離が r_H よりも小さいことから無視できる(第 A.2 節も参照のこと). このことに注意しながら、軌道傾斜角 i と関係する $\vec{l}(\vec{r}) = (l_x, l_y, l_z)$ の傾きを求めると、

$$\tan i = \frac{\sqrt{l_x^2 + l_y^2}}{|l_z|} \sim \frac{\alpha \sin i_0}{1 + \alpha \cos i_0} \quad (18)$$

となり、 $\tan i$ を i_0 の関数として書ける。 $\alpha = v_0/(r_H \omega_K)$ とした。一時捕獲では $\alpha \ll 1$ であること、また定義上 $0 \leq i_0 \leq \pi$ であることから、 $\tan i \geq 0$ がわかる。このことは、初期軌道傾斜角が如何にランダムでも火星近傍で逆行軌道を取らないこと ($i < 90^\circ$) を意味する。

i の上限を求めるために、 $\tan i$ の最大値— $\tan i$ の i_0 微分が零となる条件を求めると、それは

$$\cos i_0 = -\alpha \quad (19)$$

となることがわかる。これは $\sin i_0 = \sqrt{1 - \alpha^2}$ も含意する。このときの i を i_{\max} と書けば、ただちに

$$\tan i_{\max} = \frac{\alpha}{\sqrt{1 - \alpha^2}} \quad (20)$$

が導かれる。あるいは、

$$i_{\max} = \arcsin \alpha \quad (21)$$

である。特に、一時捕獲で期待されるように v_0 が小さいとき、すなわち $\alpha \ll 1$ であるとき、近似的に

$$i_{\max} \sim \alpha = \frac{v_0}{r_H \omega_K} \quad (22)$$

が従う。これが求めるべき式である。

A.2 一時捕獲における近点距離の解析

一時捕獲における、火星への最接近距離—近点距離 r_p を求めよう。

Lagrange 点における絶対角運動量のほとんどが初期フレーム角運動量で与えられる一方で、近点におけるそれは、ほとんどが見かけの角運動量で与えられる。近点における速度は、ほぼ脱出速度

$$v_{\text{esc,p}} = \sqrt{\frac{2GM}{r_p}} \quad (23)$$

であるため、絶対角運動量の保存性は近似的に

$$r_H^2 \omega_K \sim r_p v_{\text{esc,p}} \quad (24)$$

と書かれる。これを r_p について解くと、

$$r_p \sim \frac{r_H^4 \omega_K^2}{2GM} = \frac{r_H}{6} \sim 50 r_M \quad (25)$$

となる。ここで、 ω_K と r_H の定義式 (5, 4) より導かれる

$$r_H^3 \omega_K^2 = \frac{GM}{3} \quad (26)$$

という関係式を用いた。実際の近点距離は、初期の見かけの角運動量の影響を受けてこの値から変化するものの、大きな影響を与えるほどではない。

A.3 一度の接近で失われるエネルギー量

火星への一度の接近で失われるエネルギー量 $\Delta\epsilon$ の詳細について説明する。

モデル化された接近軌道(たとえば火星を焦点とする放物線軌道)を動く仮想的な粒子が受けるガス抵抗がなす仕事から、 $\Delta\epsilon$ を概算できる。それは、

$$\Delta\epsilon \sim I(r_p) \cdot \frac{GM}{l_D(\rho_p)} \quad (27)$$

で与えられる。ここで、 ρ_p は近点における大気密度である。 $I(r_p)$ と $l_D(\rho_p)$ のそれぞれについて説明する。

$I(r_p)$ は、 r_p に依存する量である。具体的な表式はモデル軌道の形状や大気の厚みに依存し、一般には解析的に解けない積分で表示される。しかし、現実的な r_p の範囲ではほとんど変化せず、1 程度の大きさを持つ定数とみなせる。

$l_D(\rho_p)$ は近点距離における大気密度 ρ_p で計算された制動距離である。制動距離とは、ガス中の物体の運動において、ガス抵抗の影響が顕著になる通過距離のことである。それはガス密度 ρ_{gas} 中の断面積 S 、質量 m の物体の運動について、一般的に、

$$l_D = \frac{2m}{\rho_{\text{gas}} S C_D} \quad (28)$$

と書かれる。ここで C_D は抗力係数である。

ρ_p は円盤ガス密度 ρ と比例関係にあるため、制動距離の定義式から l_D は ρ に反比例し、 $\Delta\epsilon$ は ρ に正比例する。式 (10) はこのようにして求められる。

ウポポイ天文台の建設

柴田 健一



完成したGFRP2.0天体観測ドーム

36歳で里塚に家を建てたが、当初から天文台を建てるスペースがなかった。色々頭を捻ってみたが、やはり無理である。一方で、「天の川」が見えた自宅の「緑ヶ丘団地」は、数年で街路灯が眩しくなり、星を見られる環境でなくなってしまった。

49歳の時、札幌天文同好会の仲間と厚田村に「古潭観測所」を建てたが、日本海から吹き付ける雪雲のため冬季は観測ができない。また、夏季も、陸からガスが流れてくることが多く、思ったほど天候は良くなかった。

さらに、単身赴任中に蛇の住み家となってしまう退治するのが大変で、有効に活用したとは言い難い。

定年後は、「毎日星を見て暮らす」ことを目標にサラリ

ーマン人生を過ごしてきた。

しかし、ありがたいことに、70歳代半ばに差し掛かっても働かせていただき、「毎日星を見て暮らす」生活はお預けになっていた。それでも冬季は、日高町清島方面に遠征して北風を遮られる場所を見つけては撮影をしてきた。



ウポポイ天文台とその付近図

この度、白老町にある太陽光発電所の保安管理業務を受託することになり、行ってみると雪が少ない。アメダスの北海道の気象観測点 118 箇所のうち、下から 5 番目くらいで新ひだか町（静内町）と同程度である。

そこで白老町の土地についてネットで調べてみると、昭和 40 年代後半に開発され、売りに出されている土地が多数あることが分かった。

現地を調査の結果、見晴らしが良く、南の空が暗い、樹木・電柱・電線・街路灯などの障害がない 50 坪の土地を見つけることができた。

白老町石山地区は、大半が市街化調整区域で、建築物は建てられない。しかし、ここは法律の施行以前に開発が終わっているため、建築制限が無い土地である。

南東に林があり、20° くらいは視界が妨げられること、街路灯が 7 箇所見えるので完璧ではない。



ドームに収められた AXD2 赤道儀とイプシロン 200 望遠鏡

しかし、「天の川」が見える。

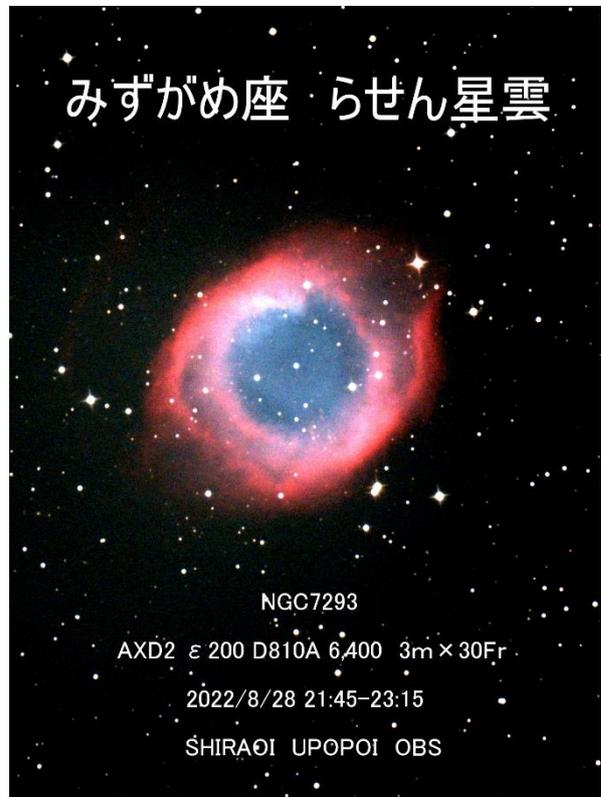
土地は、宅地として造成されていて、下水道はないが上水道はきている。除雪も入る。3 割程度し

か売れていない団地の坪単価の下限は 1 万円が相場であるが、さらに安かったので 73 歳にして購入した。

協栄産業のマウナケアドームのうち、直径 2m の一番小さい FRP 製のドームを購入。4 月中旬コンクリート基礎を打設、6 月初めドームを設置、7 月末赤道儀（ビクセン AXD2）を設置。8 月 28 日ファーストライト（イプシロン 200 + D810A）で NGC7293（らせん星雲）を 3 分ノータッチ 30 枚の露出に成功した。

ここ 10 年くらいは忙しい日々が続いたが、仕事を大幅に減らしたので、星と語り合う時間が取れるようになった。近年は、「アンドロメダ大銀河」や「すばる」などメジャーな天体を撮影してきたが、目標は達成し掛かっている。

これを機に、もう一步踏み込んだ観測を志したいと考えている。記 2022 年 9 月 4 日



ウポポイ天文台のファーストライト

本記事は、下記の三誌に投稿した。

●札幌天文同好会「PLEIADES」、●旭川天文同好会「旭天」、●澄川星の会「Northern Cross」

ウポポイ天文台その後

柴田 健一

前編では、「ウポポイ天文台の建設」と題して、設置までを昨年暮れに紹介しました。白老町は夏季に天候が悪いため、2022年12月から2023年5月までに撮影した写真と、近況をお知らせします。

主鏡にイプシロン200(F4)をセットして、D810Aで星雲を撮影しました。D810AはH α の赤い光が写ると言っても、「A」の文字がないカメラに比較してであり、特別に良く写る設計にはなっていません。このため、銀河の腕で点々と輝くH α 領域の写りには満足出来ませんでした。

そこで、D810Aの色調整フィルターをHKIR改造することにし、ハヤタカメララボに相談したところ、D810Aは生産中止になっているので改造はできない。代案として、D810Aを売りに出し、代わってミラーレス一眼カメラZ5を購入しては、とのアドバイスを受けました。

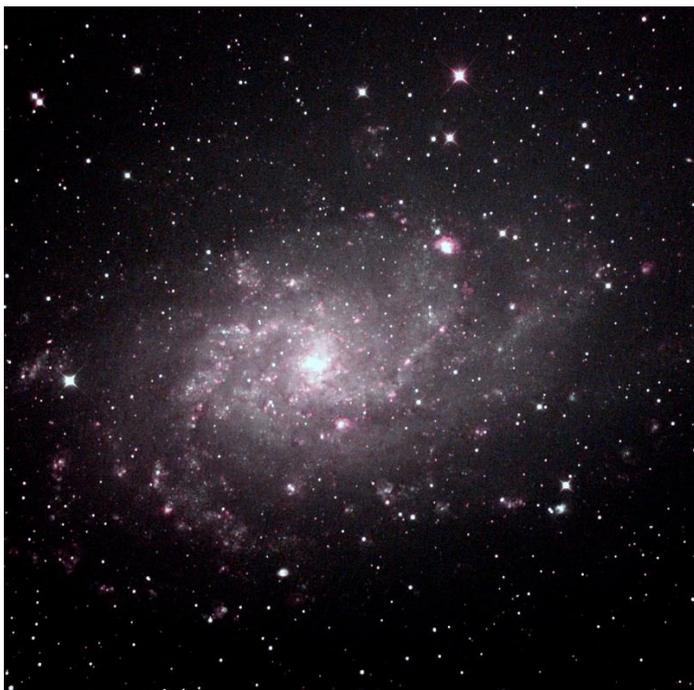
早速、キタムラで売買。数万円の持ち出しでZ5を入手してHKIR改造を依頼しました。

12月18日M33をZ5で撮影したところ、腕のH α 領域の赤が良く写りました。そのほか、馬頭星雲・バラ星雲・カリフォルニア星雲などオリジナル画像では真っ赤に写り、満足しています。

これまで、F4の鏡筒にNikonのカメラを取り付けて撮影していましたが、Nikonのカメラレンズマウントは小さいのでケラレました。

フラットで補正しても、ケラレが大きいため上手く修正できず、写野の中心しか使えませんでした。Z5はカメラのレンズマウントが大きいため、ケラレは少なくなりました。

さらに、日中太陽光で撮っていたフラット画像を、夜間の星明かりで撮ることにしたため、均一な画像が得られ補正が容易になりました。



さんかく座の銀河 M33 3分 & 5分 計72分 12,800
ダークあり フラットなし 2022/12/18



オリオン座の馬頭星雲と燃える木 3分8Fr 24分 10,000
ダークあり フラットあり 2023/1/12

全写真共通データ：イプシロン 200 AXD Nikon Z5 LPS-D1

下の写真は、おおくま座の銀河です。M81は腕の中の、赤いH α 領域が見えます。M82は赤く電離した水素ガスが吹き出している事が分かります。

その下の写真は、しし座足の付け根のM65とM66です。強拡大していますが、銀河の渦巻き構造が分かります。



M81(左) M82(右) 5分39Fr 3h15m 3,200 ダークあり フラットあり 2023/03/27&3/28



M65(左) M66(右) 5分15Fr 1h15m 3200 ダークあり フラットなし 2023/3/14

メジャーな天体については概ね撮影できたので、次の目標として系外銀河を対象に超新星の捜索を計画しています。

イプシロン 200 は素晴らしい星像を結んでくれます。しかし、銀塩フィルム設計のためCCDで反射した光が補正レンズで再度反射されCCDに写り込むゴーストが出るため、新星捜索には向いていません。このため、ミラーが動かない改造をしたC11 (28 cm F10)に載せ替えました。10月下旬現在、捜索用カメラをAS I533MC Pro としてC11鏡筒の調整中です。

さて、当然のことですが電気が欲しいところです。ところが、電柱を立てると街路灯が点り、折

角の暗い空が元も子もなくなります。

そこで、街路灯を付けないように町内会長にお願いしたところ、了解していただいたので、昨年12月17日電気を引き込みました。

近々、宿泊用のコンテナハウスを設置予定です。現在でも夜は寝られるのですが、車中泊は天井に頭が支えて居心地は良くありません。

コンテナハウスは、幅3m×長さ6m×高さ3mあるので、室内で作業も出来ます。ここにも電気を引込み、数日間は滞在できます。

来年仕事を辞め冬期間はここに滞在し、夢である「毎日星を観る生活」を送りたいと願っています。

太陽活動と気温の変化について

加藤 雅彦

太陽黒点の観測および活動周期等につきましては「旭天 Vo1. 21、22」等の石川会員の記事に詳しく記載されていますので、ここでは割愛させていただきます。

1 黒点相対数の年変化

観測データから極小期は 2019 年末と考えられ、新しいサイクル「第 25 周期」が始まりました。黒点も少しずつではありますが増加傾向にあります。

最近、望遠鏡の不調が続きモーター・コントローラーの交換などにより欠測日もありましたが、極大期に向けて精力的に観測を続けたいと考えております。

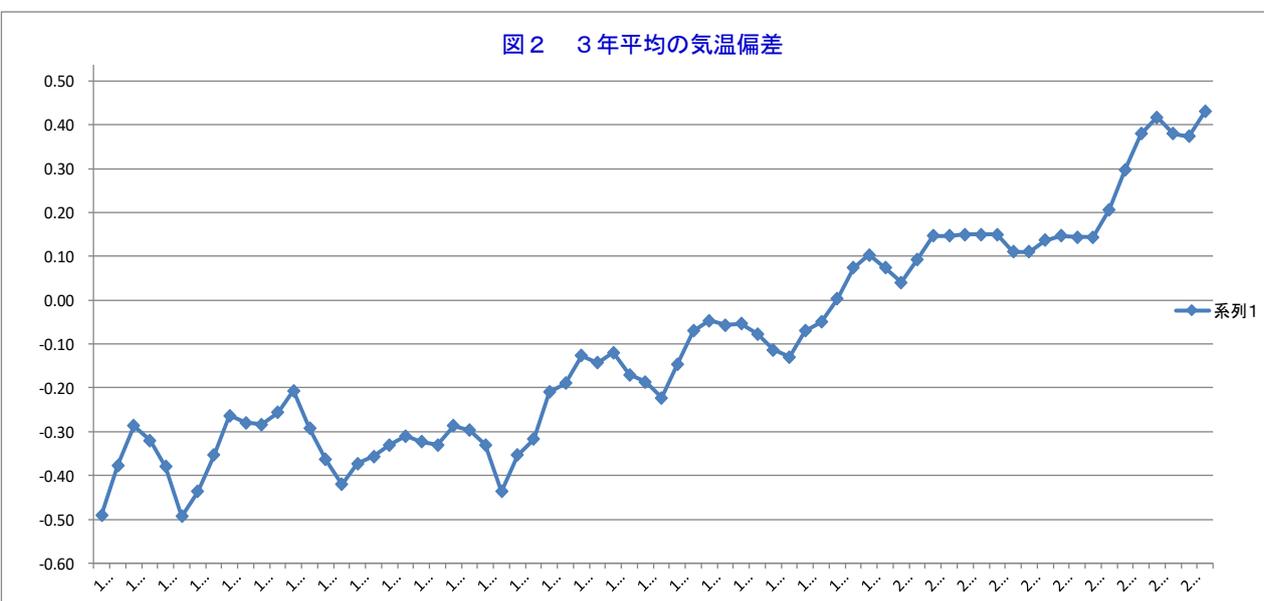
さて、旭川天文台では 1950 年からの黒点観測の蓄積があり、前任者によりデータ化されておりましたので活用させていただき、これをもとに太陽活動と地球の気候変動について検討してみました。この結果から年ごとの相対数の平均値をグラフ化したものが (図 1) です。



2 3年平均の気温偏差

また、日本の年平均気温の変化については気象庁 HP からデータを借用しました。1991 年から 2020 年までの平均値を基準値として平均気温偏差が示

されておりますので、これを利用しグラフ化しました。年ごとのプロットだとばらつきが多いので、3年平均のグラフに置き換えます (図 2)。



3 二酸化炭素濃度

重ねてみると何となく 2000 年頃まで相関関係にあるように見えますが、それ以降は気温上昇が顕著で関係性があるようには見えません。その理由を黒点以外と考えた方が良くもかもしれません。

そこで最近話題となっている温室効果ガスである二酸化炭素の上昇についての資料を日本原子力文化財団HPから引用します(図3)。

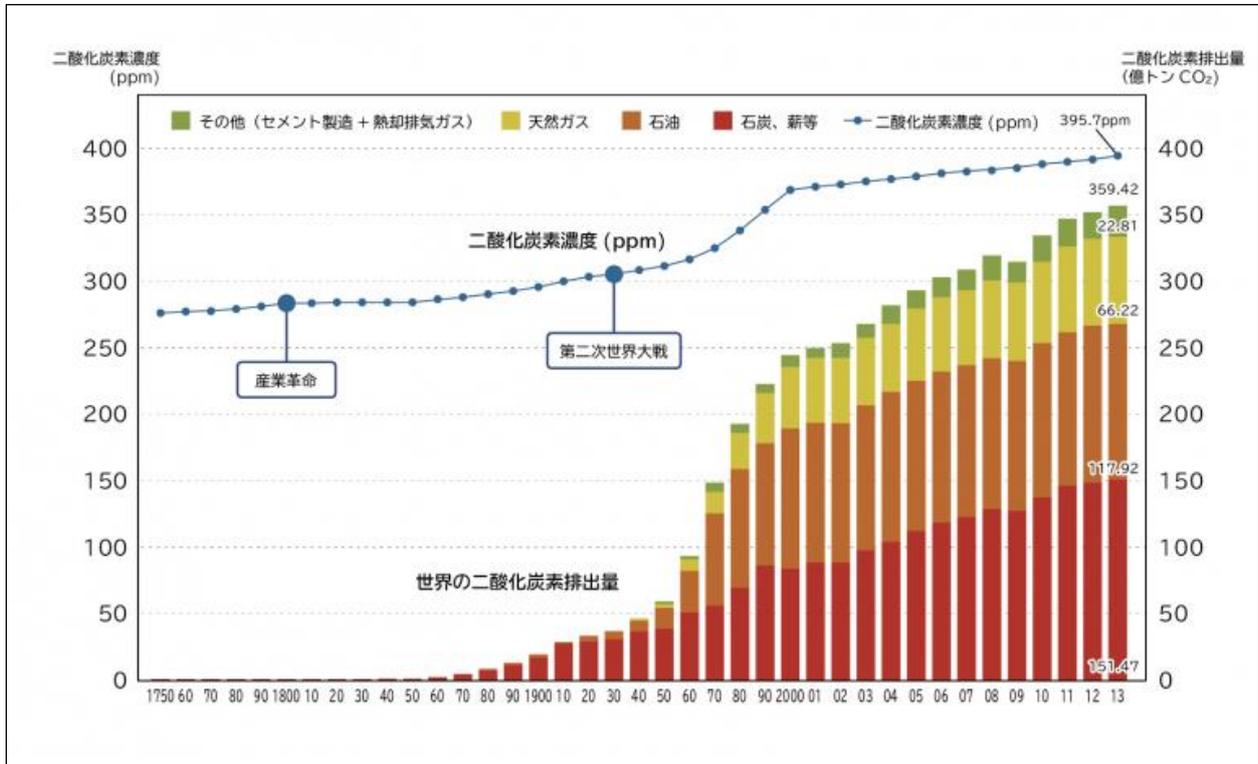


図3 二酸化炭素濃度 (日本原子力文化財団HPから引用)

これによると高度成長期時代からCO₂濃度が急激に上昇し始め、2000年頃まで続きます。その後は穏やかにはなりますが、増加傾向です。これは1990年代に発足した「COP」による温室効果ガスの排出規制に関する取り組みが功を奏してきたものと思われる。

化石燃料等からのCO₂排出量と大気中のCO₂濃度変化のグラフを見ると、2000年前後からのCO₂濃度の上昇率が大きく、上記の原因の一つと考えられるかもしれません。

黒点数の変化による太陽からの放射量がそのまま温度変化につながるとは考えにくく、ものの本に寄りますと極大期と極小期の放射量の差は0.1%

ほどと記載されていました。また、太陽活動が低下すると銀河宇宙線の入射量が増え雲の発生が増えるということです。

これは実験でよく見る桐箱を考えるとわかりやすいですね。ただ反対する学者も多いことから微妙なラインですが、マウンダー小氷期の時代日本の江戸時代初期は飢饉が多く発生していましたが、この時代の日本は湿潤であったとのことです。

これ以外にも火山噴火の影響や黄砂など太陽光を弱める因子はたくさん考えられます。

以上、私は気象の専門家でもありませんので、見間違い・間違いもあろうかと思いますが、あくまで私見を記載しました。ご了承願います。

旭川北高校における太陽観測

富田 一 茂

1 はじめに

私は、2023年度から旭川北高校に勤務し、地学基礎の授業を担当している。授業で、 $H\alpha$ 太陽望遠鏡によるプロミネンスやダークフィラメントの観測を行ったので、それを報告する。

2 $H\alpha$ 太陽望遠鏡による太陽の観測

太陽は水素が大部分で、その割合は原子数比で95.1%である。この水素が放射する $H\alpha$ 線（波長656 nm）で観測すると、太陽の活動の様子をとらえることができ、プロミネンス、ダークフィラメント、フレアなどを観測することができる。

太陽観測に使った機材は図1の通りである。鏡筒はTeleVue-85（焦点距離600 mm, F 7.0のSDアポクロマート）にコロナ社SM60エタロンフィルター（図2）、BF10ブロッキングフィルター（図3）を取り付けている。約20年前に購入したものであるため、コロナ社のフィルターは初期のモデルである。架台はすぐに準備したいときは図1のようにテレビューのF2経緯台、追尾したいときはビクセンGP-D赤道儀を使用している。接眼部にはワテック社のモノクロ CCD ビデオカメラ NEPTUNE 100（図3）を取り付け、モニターに映し出している。ただ、旧式のアナログビデオカメラで、現在はほとんど使われないコンポジットビデオ（黄色端子）出力であるため、旧式の液晶テレビかブラウン管テレビでないと映し出すことができなくなってしまった。 $H\alpha$ 太陽望遠鏡では、656 nmの赤色の単色光で観測しているため、カラーカメラよりも感度の高いモノクロカメラの方が有利である。カラーカメラはRGB（R[赤], G[緑], B[青]）の3色で撮影するが、 $H\alpha$ 光はG[緑], B[青]は使わず、R[赤]だけであるので、カラーカメラにするメリットはあまりない。

図4はモノクロ CCD ビデオカメラ NEPTUNE 100の映像を液晶テレビに映し、その画面をデジタルカメラで撮影したものである。黒点、白斑、

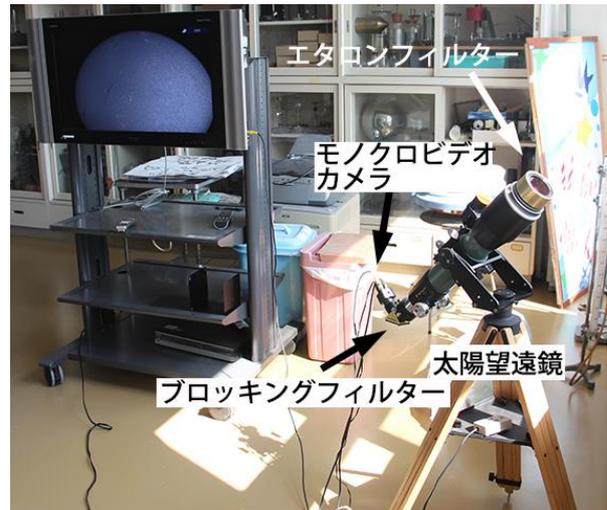


図1 $H\alpha$ 観測装置



図2 コロナ社SM60エタロンフィルター

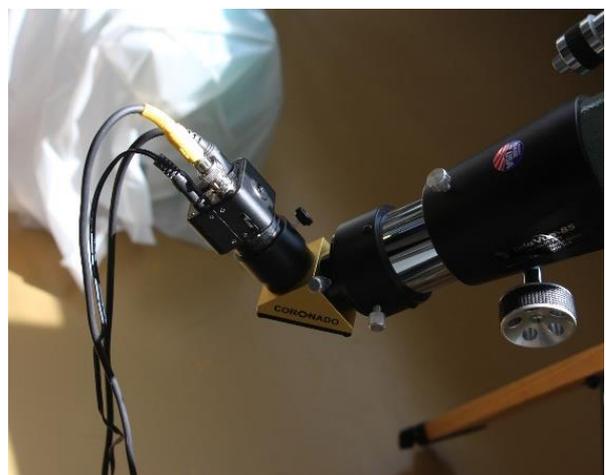


図3 コロナ社BF10ブロッキングフィルターとワテック社ビデオカメラ

ダークフィラメントをはっきり観察することができる。図5は、プロミネンスの映像である。プロミネンスは淡いので、光球（太陽表面）が白飛びするくらい感度を上げていかないと見えてこない。よく目にする太陽面とプロミネンスが同時に写った画像は、太陽面とプロミネンスを別々に撮影し、それを合成している。ダークフィラメントは太陽面でのプロミネンスである。プロミネンスは光球よりも暗いため、光球上でプロミネンスが発生すると、それが黒く髭状に見える。これがダークフィラメントである。タイミングが良ければ、光球の端に見えるダークフィラメントとプロミネンスが繋がっているのを確かめることができる。ダークフィラメントが見えている状態から、感度を上げていくと、次第にプロミネンスに変わっていくのである。

ビデオカメラでなく、接眼レンズを取り付けて肉眼で観察することもできるが、強い太陽光があたる中で接眼レンズを除くには、手でうまく遮光して覗かなければならず、生徒には少し難しい。生徒たちに望遠鏡を覗かせて直接見せたこともあるが、赤く見えるというだけで細かな模様まで観察できていない生徒がかなりいる。モニターに映すと、感度を変えながら、指さしながら説明できるので、すべての生徒にわかりやすい授業を展開することができる。

モニターに映す必要があるため、観測は教室で行っている。幸い2時間目までは普通教室、午後は物理実験室、化学実験室に太陽光が差し込む。ただ、冬は暖房が入るため、窓を開けると室内外の気温差により気流が乱れて、ピンボケ画像になってしまう。また、窓を閉めてもガラスの影響でピンボケ画像になる。そのため、宇宙の学習は冬になるが、観測は時期をずらして行う必要がある。

太陽の活動は11年周期であることが知られている。太陽活動の極大期が2024年～2025年であると予想されており、現在は極大期に近づいているため、太陽面が非常に賑やかである。極小期は無黒点の時期が続くが、2023年はいつ見ても黒点やダークフィラメントを見ることができた。

11年周期を生徒に教えるときには、まず「黒点

が多いときは、極大期か極小期か」と生徒に問うようにしている。すると、極大期と極小期が半々に分かれることが多い。極小期と答える生徒は、黒点は光球面よりも温度が低いため黒く見えることから、黒点が多いときは太陽面の温度が低く、活動が不活発と考えるのである。このような生徒に対して、黒点の周囲には白斑と呼ばれる温度の高い領域があること、太陽内部からの対流によって熱が運ばれ光球面が6000 Kという高温になっていることなどを説明し、太陽活動の極大期には、太陽の対流が活発になり、温度の高い白斑と温度の低い黒点がともに増えることに気づかせるようにしている。

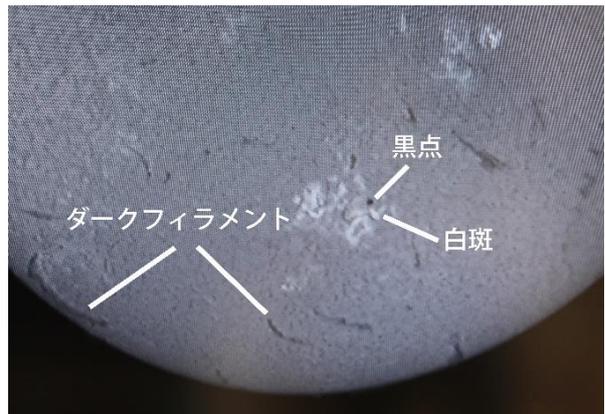


図4 H α 太陽望遠鏡での太陽面

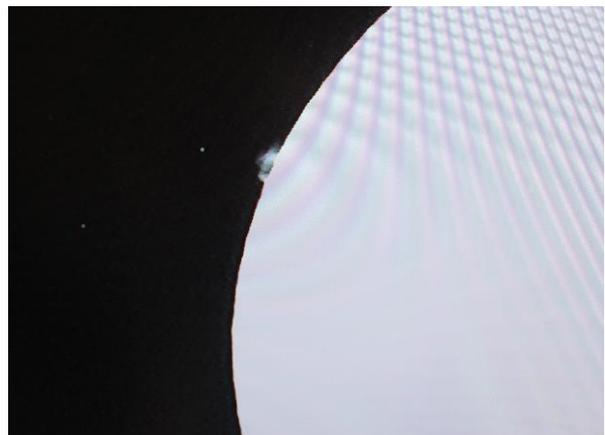


図5 H α 太陽望遠鏡でのプロミネンス
光球面に縞模様があるのは、液晶テレビの映像をカメラで撮影したため
(図4、図5はいずれも2023年5月14日撮影)

3 おわりに

最近アナログ出力に対応するモニターが少ないので、ZWOのカメラの使用を検討している。

美瑛町郷土学館

荒 明 慎 久



外 観

1 丘のまち郷土学館「美宙」

美瑛町郷土学館（愛称：丘のまち郷土学館「美宙」）は、“丘のまち”として知られる美瑛町の玄関口となるJR美瑛駅から徒歩6分ほどの場所にあります。前身となる郷土資料館の老朽化に伴い、2016年7月に「町民をはじめ、多くの方に美瑛の郷土、自然及び天文について学ぶ場を提供する」



館内の様子



館内の様子

施設として新たに開館しました。

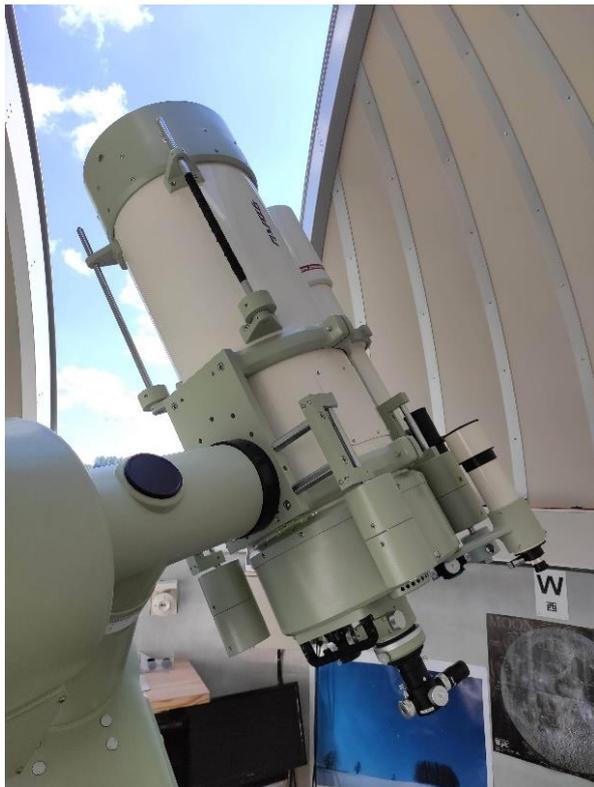
美瑛町の開拓・農業等の歴史、活火山として知られる十勝岳や上富良野町と取り組んでいる十勝岳ジオパーク活動について展示しています。

その他に講座・研修のための学習室やコミュニティスペース、そして天文台（美宙天文台）も併設されており、天文台長は理論物理学者佐治晴夫氏が務めています。

2 主鏡は高橋製作所製 400 mmカセグレン式反射

天文台の紹介をしますと、主鏡は高橋製作所製 400 mmカセグレン式反射 (C-400 B : D=400 mm, f/14, 愛称ぴかり望遠鏡)、副鏡は同じく高橋製作所製 150 mm屈折 (TOA-150 B : D=150 mm, f/7.3) が設置されています。

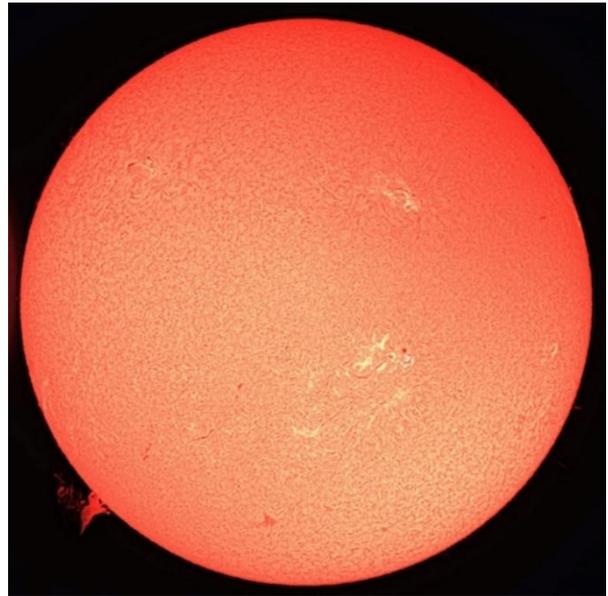
その他にLUNT製 60 mm太陽観測専用望遠鏡 (ダブルスタック仕様) も設置されています。赤道儀は高橋製作所製EM-3500 が設置されています。C-400 BやEM-3500 は見かけることの少ない珍しい機材だと思います。



望遠鏡



太陽望遠鏡



太陽 (H α 像)

3 昼間に星が見られる望遠鏡

天文台の特徴としては、「昼間の星」を前面に出しています。他にも昼間の星が見られる施設は多くありますが、夜がメインの天文台という施設の中で、あえてこの大きさの望遠鏡を街中に設置した施設はあまり見かけません。

これは、佐治台長の「科学はさまざまなものを“目に見える”ようにしてきたがゆえに、目に見えないものは信じないという風潮がつくられてしまいました。宇宙全体の中で私たちに見えるものはたった4%に過ぎません。目に見えない人間の心が確かにあるように、昼の星は目に見えないけれども確かに存在することを通じて、目に見えるものだけが全てではないということを伝えたい。」という提案によるものです。

来館者には、昼間は恒星 (主に1等星) を中心に金星 (時期によっては水星も) を見ていただいています。夜間は恒星の他に月、惑星、星雲・星団を見ていただいています。

街中に設置された天文台であることから道路の街灯が気になる方角もありますが、バックグラウンドは暗く、望遠鏡の口径も相まって球状星団などの見え味は格別です。



アルタイル



土星

4 電視観望は星雲星団観望等に威力を発揮

機材としては 2019 年に冷却 CMOS カメラ (ZWO ASI 294MC Pro) を導入し、電視観望ができるようになりました。電視観望は星雲星団観望時に威力を発揮し、眼視ではわからない星雲の色を見ることができます。

また、2023 年に赤道儀ピラー部に液晶モニターを設置し、電視観望の映像や導入天体の解説などの用途に活用しています。設置した液晶モニターはモバイルモニターと言われる薄型軽量のもので、ピラー部にファスナーテープで取り付けられています。重量的にもネジ等で固定する必要が無く、非常に手軽で価格もリーズナブル (2~3 万円程度) ですので、観望会などの用途にオススメです。



ピラー部に設置したモニター

5 開館時間等について

開館時間は午前 10 時~午後 7 時となっていますが、夜間の延長公開も月 1 回程度行っています。延長公開の詳細な日程については文末に記載したホームページをご覧ください。また、月食等の天文現象が見られる際にも観望会を行っています。

2019 年からは北海道内で初めて星空案内人 (星のソムリエ) 資格認定講座を開催しています。これまで 8 名の星空案内人が誕生し、60 名弱の星空準案内人が誕生しました。今後の開催については未定ですが、これまでに認定した星空案内人やその他のボランティアの皆さんとより一層充実した施設運営をしていければと考えています。

(休館日: 毎週火曜日・12/31~1/5)

ホームページ:

<https://www.town.biei.hokkaido.jp/culture/misora/>

文責: 荒明慎久

美瑛町郷土学館 業務係長

日本天文教育普及研究会 北海道支部 会員

東亜天文学会 会員

NHK番組「北海道道」取材

石川清弘

☆はじめに

旭川市科学館サイパルのプラネタリム担当者から突然連絡があり、NHKの取材を受けて欲しいとのことでした。

NHK道内番組の「北海道道」で、内容はアイヌの星について調査研究した元旭川天文同好会員の末岡外美夫氏についてでした。

☆NHKからの取材

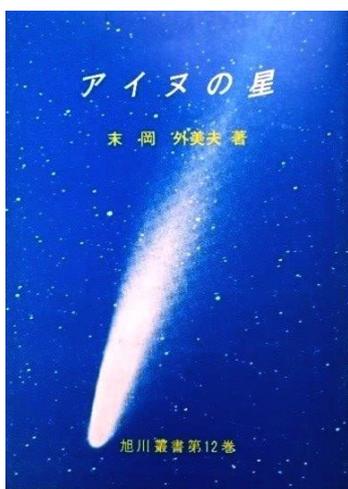
しかし、私が末岡氏に会ったのは40年も前のことであり、会ったのもほんの短い時間ですので、ほとんど覚えていないのが実情です。番組のインタビューでもほとんどの的確な回答ができませんでした。

担当のディレクターはBS科学番組の「コズミック フロント」を担当している方で、北海道出身なので今回、起用されたとのことでした。

東京から、わざわざ自宅まで来ての収録でした。ディレクターとカメラマンと音声担当の三人で来ました。自宅での収録後、サイパルのプラネタリウムで取材したようです。

☆末岡氏の著書

末岡氏の著書は旭川叢書12号として出版された「アイヌの星」があります。その後、末岡氏が亡くなられた後に、ご家族によってそれまでの研究資料をまとめて出版した「人間達 (アイヌタリ)



末岡外美夫著「アイヌの星」

のみた星座と伝承」があります。いずれも絶版であり、ひじょうに貴重なものになっています。

今のところアイヌの星を知ることができる資料は、ほかにないようです。放送を見た方で、再版の希望があったそうです。



末岡外美夫著「人間達のみた星座と伝承」

☆再放送

その後、BSの全国版で再放送されたことから、知人から見たとの声を聞きました。

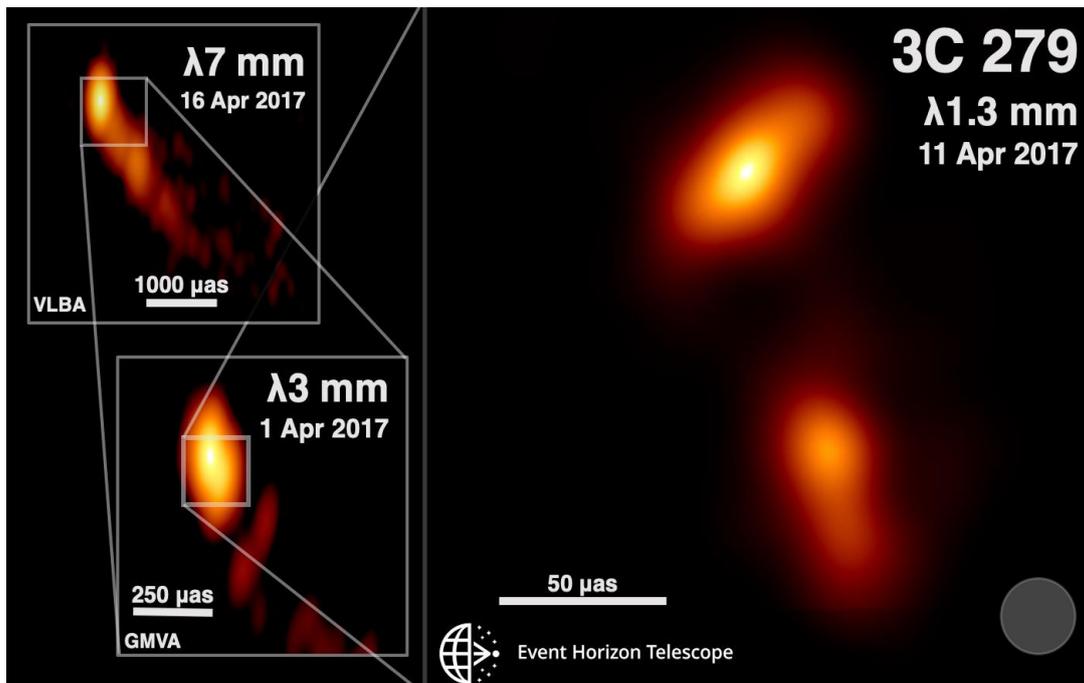
月刊「天文ガイド」でも末岡氏の資料を基にアイヌの星について連載されました。この筆者は、旭川市科学館のプラネタリウムで勤務したことがあり、現在は多摩六都科学館のプラネタリウムで解説をしている成瀬裕子さんです。成瀬さんは旭川に居るときから、アイヌの星について調べて解説していました。今でもアイヌの星について解説が聞けるのは、うれしいことです。



取材クルーと

クェーサー3C279からのジェットで観測される超光速運動

富 樫 一 憲



様々な波長で観測したクェーサー3C279のジェット。おとめ座 50億光年 中心に太陽質量の10億倍のBH
①画像右側は、EHTが波長1.3mmの電波で2017年4月11日に撮影した画像。
②左上は波長7mmの電波で2017年4月16日にアメリカのVLBAで観測した画像。
③左下は波長3mmの電波で2017年4月1日にグローバルミリ波VLBIアレイ(GMVA)で観測した画像

Credit: J.Y. Kim (MPIfR), Boston University Blazar Program (GMVA and VLBA), and Event Horizon Telescope Collaboration

1 超光速運動

アインシュタインの相対性理論によると、この宇宙において最高速度で伝搬するのは光であり、物質やエネルギーの移動や伝達は、光速度を超えることはできない。それは、今までの数々の検証実験から疑いのない事実とした認められている。

しかし、遠方にあるクェーサー 3C 279 (上図)の中心で輝くジェットを、EHT望遠鏡(Event Horizon Telescope)といわれる地球規模の電波干渉計システムを使って高解像度で観測すると、ジェットの運動が、見かけ上、光の速さを超える「超光速運動」をしていることが明らかになった。

上図3C279の左上の例では、電波コアから右下にジェットが伸びており、それは「ノット」と呼ばれる明るいガスの固まりが並んでできている。

このジェットを数ヶ月から1年以上にわたり観測すると、ノットが中心から遠ざかるように動いていることがわかる。そして、驚くべきことに、その速さが光速を超えていたのである！



3C279の場合は、光の速さの約20倍、また他の天体によっては光の速さの数倍から10倍近い速度を持つジェットがあることも明らかになった。このように光の速さを超えて運動するので、この現象は「超光速運動」といわれている。

この「超光速運動」がなぜ超光速になるのかは、高校程度の数学の知識があれば理解できる。後ほど「5」の中で具体的な計算をしながら解説する。

2 クェーサー (Quasar) とは

クェーサーは、非常に遠くにあつて極めて明るく輝き、恒星のような点光源に見える天体である。クェーサーという名称は「準恒星状天体」の短縮形で、日本語では「準星」と呼ばれている。

クェーサーの例

No.	名称	星座	距離	備考
1	OJ 287	とかげ座	35 億光年	連星ブラックホール
2	3C 273	おとめ座	24 億光年	初発見クェーサー
3	3C 279	おとめ座	50 億光年	超光速ジェット
4	0316-346		22 億光年	特異な尾形
5	PKS2349			衝突合体銀河

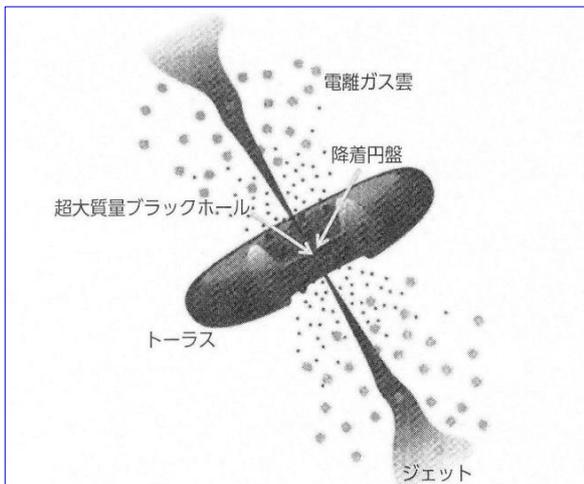
※. クェーサーは現在までに約 1 万個発見されている

クェーサーのスペクトルは大きな赤方偏移を示す。これは、ドップラー効果により地球から非常に高速で遠ざかっていることを意味する。また、ハッブルの法則から極めて遠い場所にあり、宇宙の初期に存在していた天体ということもわかる。

さらに、遠方であっても明るいことは、桁外れのエネルギーを放出していることを暗示する。

クェーサーの正体は、非常に遠方に位置する活動銀河中心核 (AGN=Active Galactic Nucleus) を持つ銀河の一種であることが判明している。また、最近の研究では、その中心部には太陽質量の 1 億倍を超える超大質量ブラックホールがあることがわかってきた。

活動銀河中心核 (AGN) の模式図



中心に超大質量ブラックホールがあり、その周りに膠着円盤がある。これらを取りまくようにトーラスとよばれる高密度のガスと微粒子を含むドーナツ状の構造がある

3 クェーサー「3C279」

クェーサー 3C279 は、おとめ座の方向に、地球から約 50 億光年離れた遠方にある。3C279 の中心には、やはり太陽のおよそ 10 億倍の質量の超大質量ブラックホールがある。これは、私たちの天の川銀河中心部のブラックホール「いて座A*」の 2000 倍以上の質量である。

超大質量ブラックホールに大量のガスが落下すると、巨大なエネルギーが解放され、極めて強い光を放出する。重力に引かれたガスは周囲に円盤を作り、その一部が細いジェットとなり光速に近い速度で円盤の両側に噴き上げられている。

EHTによる3C279の観測は、2017年4月に行われた。世界の望遠鏡を仮想的に結合することで、わずか0.4光年のサイズを分解できる超高解像度が実現された。この解像度は月面に置かれたオレンジを地球から見る視力に相当する。

参考に、クェーサー 3C279 という名称の由来を説明しよう。英国ケンブリッジ大学のグループは、以前から電波源の探査を行ってきた。その成果として9個の電波源カタログを出版、電波源は1C, 2C, 3C...と表記される。Cはケンブリッジ (Cambridge)を示し、3C279とは3Cカタログで279番目に登録されている電波源のことである。

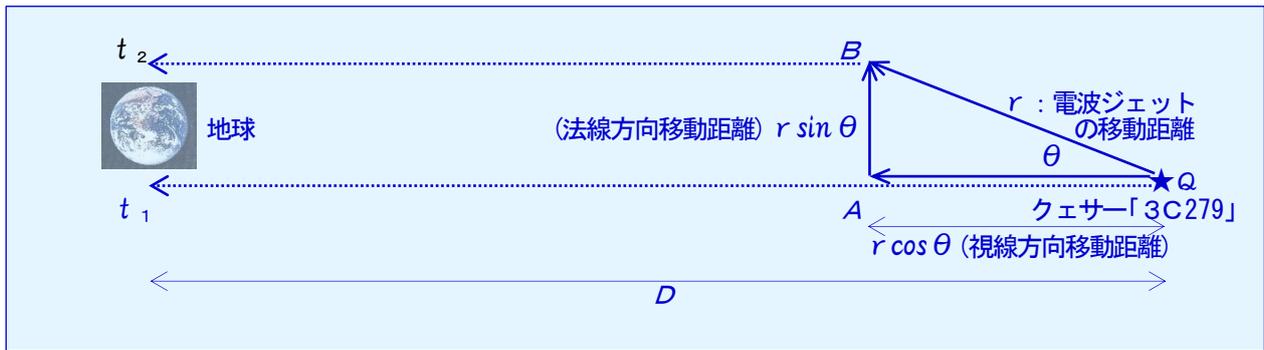
4 ブラックホール・エンジン

クェーサーが明るく輝く理由は次のように説明される。まず、①中心部の超大質量ブラックホールの周りに膠着円盤ができる。②それがブラックホールに落ち込む。③そのとき重力の位置エネルギーが電磁波エネルギーに変換され明るく輝く。

これは、重力発電 (=水力発電) と同様の原理であり、地球上ではさほど大きな電気エネルギーを生み出すような変換ではない。

しかし、銀河の場合は違う。落下する相手が超大質量ブラックホールだからである。その強大な重力により莫大な重力エネルギーが放出され、そのため、クェーサーが明るく輝くのである。

このように、ブラックホールが重力の位置エネルギーを電磁波のエネルギーに変換し、明るく輝くしくみを「ブラックホール・エンジン」という。



5 クェーサー「3C279」からの電波ジェット

(1) 電波ジェットの見かけの移動速度

上図で、クェーサー「3C279」が右に位置し、そこから左斜め上方に角度 θ で電波ジェットが放出されたとする。そのジェットから放たれた光を、左方で距離 D 離れた地球から眺めたとしよう。

① 「3C279」の中心核から電波ジェットが放出された時刻を起点 ($t=0$) とし、このジェットが点 Q で放射した光を、地球で観測する時刻 t_1 は、光速度を c として次式で表される。

$$t_1 = \frac{D}{c} \dots\dots\dots ①$$

② 次に、電波ジェットが B 点に到達し、そこから放たれた光を地球で観測する時刻 t_2 は、点 Q から点 B までのジェットの移動時間と、点 B で放射された光が地球に届く時間の合計だから、

$$t_2 = \frac{r}{v} + \frac{D - r \cos \theta}{c} \dots\dots\dots ②$$

ここで、 v は電波ジェットの移動速度である

③ この間に私たちが観測するのは、ジェットの点 A から点 B までの法線方向の移動距離

$$r \sin \theta \dots\dots\dots ③$$

である。視線方向の移動距離は無視されている。

④ そして、電波ジェットの点 Q から点 B までの移動（みかけ上は点 A から点 B への移動）を地球で観測する経過時間は、次式で表される。

$$t_2 - t_1 \dots\dots\dots ④$$

⑤ 以上①・②・③・④式より、電波ジェットのみかけの移動速度 v' は、

$$v' = \frac{r \sin \theta}{t_2 - t_1} = \frac{r \sin \theta}{\frac{r}{v} + \frac{D - r \cos \theta}{c} - \frac{D}{c}}$$

$$v' = \frac{r \sin \theta}{\frac{r}{v} - \frac{r \cos \theta}{c}} = \frac{v \sin \theta}{1 - \frac{v}{c} \cos \theta}$$

改めて、 v' について次式を得る。

電波ジェットの みかけの 移動速度	$v' = \frac{v \sin \theta}{1 - \frac{v}{c} \cos \theta} \quad ⑤$
-------------------------	--

(2) 具体的な数値計算

例として、 $v=0.995c$ 、 $\theta=10^\circ$ の場合を考え、⑤式に代入すると、

$$v' = \frac{0.995c \sin 10^\circ}{1 - \frac{0.995c}{c} \cos 10^\circ} = \frac{0.995 \times 0.1736c}{1 - 0.995 \times 0.9848} = \frac{0.172732c}{1 - 0.979876} = \frac{0.172732c}{0.020124} = 8.58c$$

となり、光速の 8.6 倍ほどになることがわかる。

(3) なぜ「超光速運動」に見えるのか

(1)の説明のように、地球に向かって小さい角度 θ の方向に光速 c に近い速さで運動するジェットから放射された光は、ほぼ同じ速度のジェットに追いつかれる。その結果、先に放射された光の到達時刻 t_1 と、少し遅れて放射された光の到達時刻 t_2 は、大きな時間差なしに地球に届く。

そのため、④式の $t_2 - t_1$ の値が小さくなり、見かけ上、視線に垂直な方向（法線方向 図の A から B ）の速度が光速を超えて観測されるのである。

これは、単純に幾何学上の問題であって、相対

性理論と矛盾しない。光速度を超えているのはあくまでも見かけの速さであって、ジェットの速度そのものは光速度を超えてはいない。

(4)「超光速運動」となるための条件

実は、次の条件が満たされれば、このような超光速運動が観測できることがわかっている。その条件は、次の通り。

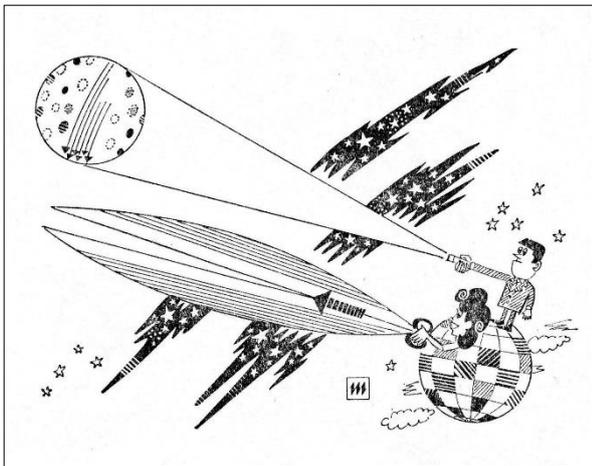
- (1) ジェットの速度が光速度 c に近いとき。
- (2) ジェットの運動方向がほぼ地球に向かう方向（視線方向に近い方向）のとき。

6「超光速運動」をするもの

夜、遠く離れた家の白壁に懐中電灯のスポットを当てたとする。懐中電灯を少し左右に動かすと、スポットは速い速度で動くだろう。白壁が遠くになればあるほど、スポットは速い速度で動く。仮に、白壁が月ほどの遠方にあったとしたら、スポットは光速度以上の速度で動く。したがって「超光速運動」が実現したことになる。

しかし、スポットは白壁上の1点から他の点へエネルギー・物質・信号などは移動させずに、ただ明るい点のみが移るだけである。したがって、この現象は「超光速運動」であってもかまわない。

また、刃の部分非常に長いはさみがあるとすると、はさみを閉じたり開いたりすると、刃と刃の交点は、非常に速い速度で刃の先へ進んだり根元



超光速運動をするもの

に戻ったりする。もし、はさみの刃が十分に長かったら、交点の移動速度は光速度以上になる。

しかし、この場合も、刃と刃の交点はエネルギー・物質・信号などは運ばないので、この現象も「超光速運動」であってもよいのである。

7「超光速運動」の電波ジェットが意味すること

ここで「クェーサーから放出される電波ジェットが光速度に近い」という観測結果の意味を考えてみたい。ジェットの速度は、それが放出される天体の脱出速度を反映していることに注目する。

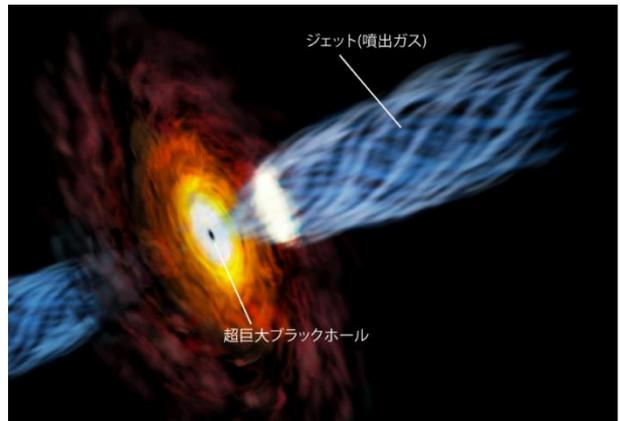
ここで、脱出速度とは「物体が天体の引力を振り切って飛び出すための最低の速度」のことで、例えば、月の脱出速度は 2.38 km/s、地球は 11.2 km/s、木星は 59.5 km/s、太陽は 617.5 km/s 等、天体の質量が大きいほど脱出速度も速いことがわかる。

太陽表面からガスが星間空間へ飛ばされる「太陽風」という現象があるが、観測によれば、その速度はおおよそ 500~1000 km/s の範囲であり、太陽の脱出速度と同程度であることに合点がいく。

同様に、クェーサーからのジェットの速度が光速度に近いということは、それが放射される天体の脱出速度が光速度に近いことを意味している。

脱出速度が光速度を超える天体はまさにブラックホールだから、光速度に近いジェットはブラックホールの近辺から放射されることを示している。このように、見かけの「超光速運動」の観測からもブラックホールの存在が推定されるのである。

ブラックホールの想像図



膠着円盤が中心の超巨大ブラックホールに落ち込み、そのうちの一部のガスはジェットとして外に放出される。

(国立天文台 / And You Inc)

旭川におけるオーロラ観測

伊藤 正 光



i Phone12 ProMax ISO6400 ナイトモード1秒 2023年12月1日 22:06 旭川市神居町豊里

2023年12月1日夜、北海道各地で低緯度オーロラが観測され、旭川郊外でも観測することができたのでその時の様子を記録しておく。

私はオーロラに関する知識はほとんど持ち合わせていないので、観測した時の場所、様子、気象状況を記録するものである。

1 当日の予報

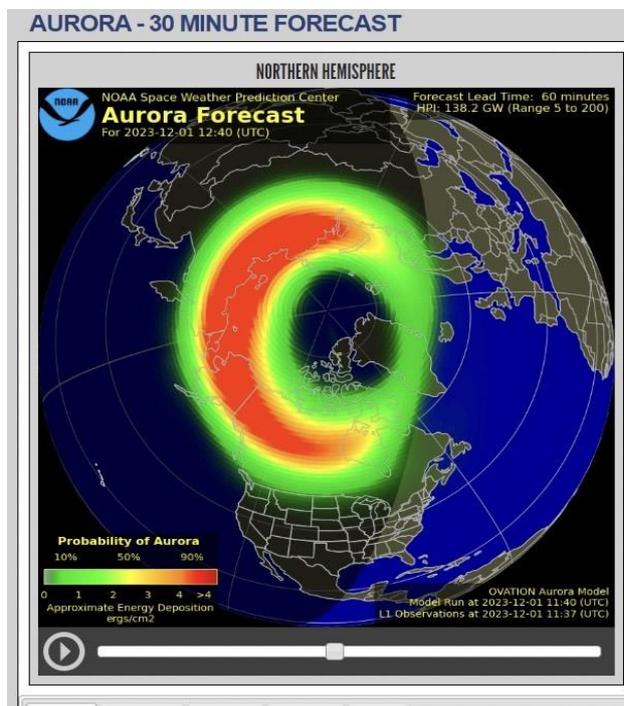
2023年11月29日に太陽で発生したフレアの影響で12月1日に大規模のオーロラの発生が予測されていたが、当初の予想は北海道では肉眼で観測するのは難しいが、写真撮影すると写るかも？という程度だった。

実際は北海道各地で肉眼での観測ができたという事で、予想より規模の大きなオーロラ出現となったことになる。

当日のオーロラ発生予報 (→)

赤い部分が大きく広がっており低緯度地域まで広がっている。北海道の近くではカムチャッカ半

島の北部までオーロラの発生が予測されていた。北米方面はさらに低緯度まで広がっており北緯45度くらいでも発生が予想されていた。

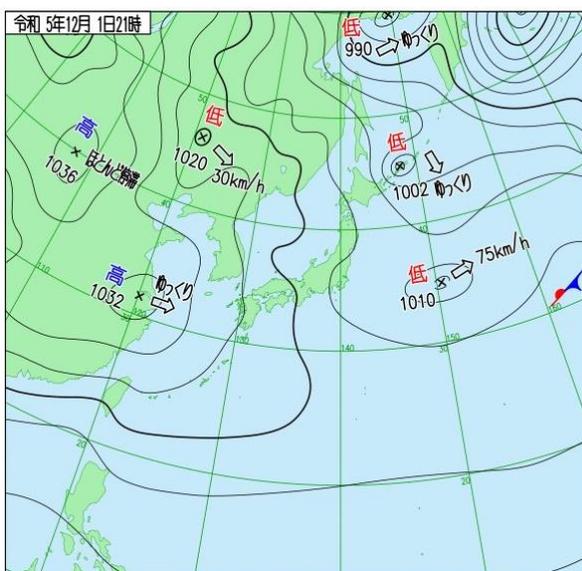


2 当日の気象状況

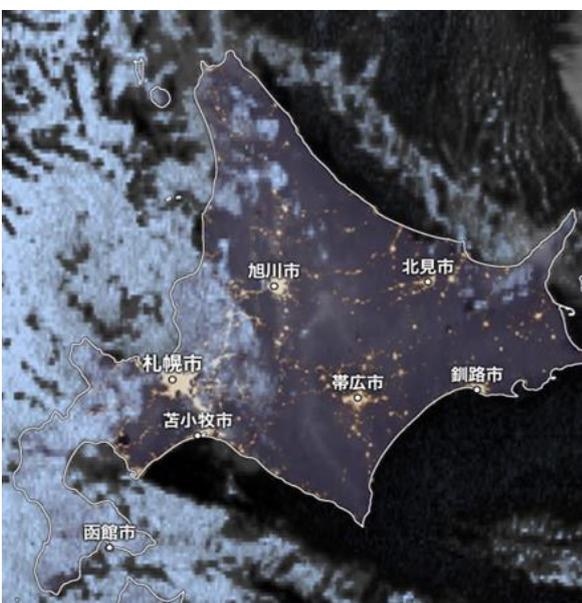
オーロラの発生は予測されていて、もしかしたら北海道でも？という期待はあったが、当日の日中はほぼ曇り空。当日の北海道付近の気象状況は、冬特有の西高東低の気圧配置。

北海道東部や太平洋側では晴天が期待される気象状況だが、肝心の旭川を含む北海道日本海側や北部は寒気に伴う雲が流れ込みやすい状況で、はっきり言ってあまり期待していなかった。

当日は芦別での星空観望会があり、20：30頃から外にいたが予想に反して晴れ間が多く、時間経



2023年12月1日21時の気圧配置（気象庁）



22時10分の気象衛星ひまわり衛星写真

過とともにほぼ雲がなくなり、21：00前には快晴となった。尚、月齢18過ぎの月が高度30度弱で明るく空を照らしていた。

ひまわりの画像では旭川を含む道北、北海道東部、太平洋側で晴れている様子がわかる。

北海道各地で観測された場所（3. 観測された場所）はこの晴れ間と一致しており街灯りの影響が少なく晴れていれば観測できたという事になる。

3 観測された場所

当日低緯度オーロラを観測できた場所は次の通り（いずれもSNSにアップされていた情報をもとにしていますのでこの他にも観測された場所があるかもしれません）。

- 道北地方：旭川 名寄 比布 富良野 美瑛
- オホーツク地方：浜頓別 雄武 佐呂間
- 道東地方と太平洋側：陸別 帯広 釧路 美幌 弟子屈 浦幌 中札内 新冠 中標津

4 旭川で観測された低緯度オーロラの様子

たまたま芦別でスマートフォン撮影した画像が残っていたが、撮影した場所からだとは北北東方向に旭川の街明かりがあり、写真でも判別は難しかった。真北より少し西寄りに空に赤っぽいところがあるのがオーロラなのかもしれないが、肉眼では全くわからなかった。

（ちなみに望遠鏡が置いてあるのがほぼ北の方角。旭川の明りが見える。ポールより左側が西寄り。少し赤っぽく見える？程度）



芦別市油谷 12月1日 21:17

芦別からでは旭川の光害の影響もあり観測が困難と判断し、移動。北方向に明かりの無いであろう場所にて再度観測することにした。

観測した場所等は次のとおり



場所：
旭川市神居町豊里

矢印の方向を撮影
(北)

東側に旭川
西側に深川

北東方向にはスキー場があるが12月1日現在照明は点灯していない。通常こちらの方向に明るい場所はないはずなのでこの場所で観測することにした。*22時過ぎに到着。

車から降りて空を見ると、肉眼でもわかるくらいに空が赤っぽく見える。目が慣れてくるともっと見えてきた。オーロラの様子は、はっきりわかるくらい明るくなったり、少し暗くなったように見えたり変化する様子も確認できた。おそらくは22時5分くらいが一番よく見えたのではないかと思う。そのあと空の赤色は減衰していき22:30過ぎにはわからなくなってしまった。

芦別の写真に写っていたとすると、遅くとも21時過ぎにはオーロラが出現していたものと思われるが、SNSの情報を参考にすると、20時過ぎには出現していたのではないかと考えられる。

しかし撮影する道具はスマートフォンしかなかったものでそれで撮影。カメラを持ってこなかったのが非常に悔やまれる。そのとき撮影した画像は先頭ページに掲載。

スマートフォンでも写るオーロラ。この時は真北というより少しだけ西寄りに広がっていた(画像上部右寄りに北極星)。この後、30分もしないうちにあまり見えなくなってしまった。



旭川市東旭川で撮影された低緯度オーロラ。12月1日

5 過去に観測された旭川でのオーロラの記録

1958年(昭和33年)の2月11日に日本の広範囲(北海道から関東方面まで)で観測された記録がある(画像等は見つけることができなかった)。

その前年1957年の9月13日の記録では、初代旭川天文台長の堂本義雄氏のスケッチが残されており、観測されていたのが確認できた(参照:名古屋大学宇宙地球環境研究所HP 2021.12.24)。



堂本義雄氏によるオーロラのスケッチ 1957.9.13

以降は北海道内での観測記録はあるが、旭川での記録は見つけることができなかった。

このことから観測記録としては実に65年ぶりとなる可能性があり、旭天に記録として残すことができるのは大変に有意義なことだと思う。

星と私と～私が星を好きになった理由～

高橋美晴



【しし座流星嵐】 The Leonid Meteor Storm

(※国立天文台Web ページより <https://www.nao.ac.jp/phenomena/20021100/98index.html>)
画像も探したが見つけれなかったので、1966年アリゾナ州の流星群をシュミレーションしたものをキャプチャーした。(元動画；https://www.youtube.com/watch?v=6ZZ_G03jSmk
「しし座流星嵐」 The Leonid Meteor Storm/flyAoboshi より)

1 思い出の1ページ

1965年11月17日—私はその日が4歳の誕生日で、状況も時間も曖昧にしか覚えていられないほどに幼かった。なのに「今日は特別な日だ。今を逃したら2度と見られないかもしれない！」という言葉だけは、何故かハッキリと耳に残っている。妹と一緒にベッドで気持ちよく眠っていたところを父に起こされたのだ。

昭和でいえば40年。電柱に括りつけられた街灯の裸電球が薄暗く灯る庭先に立って、父と共に<ソレ>を見た。思いつく限りの願い事を唱えても余るほどの流れ星が、乱舞するように落ちてゆく光景を。父の手を握りしめ「すごいね！きれいだね！」と何度も言っていたような薄っすらとした記憶はあるのだけれども、その感動は夢の中の出来事だったかもという疑問のような気持と共に私の中に残った。

そしてそれは、後に「しし座流星群」だったことを知った。父が特に天文に詳しくあったとか、興味があったとは聞いていない。おそらくは仕事上で知り得た情報だったのだと思うのだけれど、あの日に父が熟睡中の幼子をたたき起こしてまで見せたかった流星群は、その後の私の中で大切な宝物となっていた。因みに、当時の流星群について少し調べてみたところ、1時間あたり200～300個も見られたのだと分かった。翌年の1966年にはアリゾナ州で1分間に2400個、1秒当たり40個もの流星が流れたという記録もあった。

こんなにも曖昧で不鮮明な記憶が私の星との出会いであり、星を好きになるキッカケになった。それは学問としてではなく、あくまでも夢見がちな少女のポエム的な憧れのようなもので、星にまつわる神話や伝説に興味を持つようになった思い出の1ページである。

2 小学生から高校生の時代

小学生当時は学校の横にプラネタリウムがあり、放課後になると頻繁に出入りしていた。階下が図書館になっていて知りたいことをすぐに調べられたことも、好奇心を満たすには恵まれた環境だったと思っている。

小学校の後半からは女子特有の夢見がちなストーリーを星座の中に描くようになり、友人たちと集っては日々星への想いを膨らませるようになっていく。ただ、星を見てソレを語るような仲間は、それほど多くはなかったのだけれど ……………。

中学生の頃には部活動に忙しく、夜空を眺めることは少なくなってしまった。街明かりが深夜の星を隠してしまうほどに明るくなってしまったことも一つの要因なのだろうけれども、日常の生活に追われて心に余裕がなくなってしまったのかもしれない。

部活動が20時を過ぎると、男子部員が女子部員を送りながら複数人で賑やかに帰るのが通例で、そんな時は部員の中でも学業優秀系の先輩が、帰る道々で夜空の星々を詳しく解説してくれたりするのが楽しかったという思い出もある。

高校生になった頃、学校のすぐ近所にあった「木原天文台」に遊びに行かせて頂く機会があった。父が地元の高校に勤めていた頃の木原先生と少しだけ繋がりがあった関係で、学びに行くというのではなく遊びに行くという軽い気持ちでしかなく、しかも時々という程度だったのが、今となっては口惜しい。あの頃もう少し真面目に通っていたなら、私の中の星・宇宙の世界は今よりも比率が大きかったのだろうか。

3 木原天文台の現在

現在「木原天文台」は役目を終えて解体されてしまっているのだが、その模型が「名寄産業高校の建築システム科地域研究班」より名寄市役所に寄贈されたというのをFacebookで広報されたことがある。市役所のどこか若しくは名寄天文台の中に展示されているのか、機会があれば見に行きたいと思っている。



2020年12月1日名寄市役所 Facebook より (<https://www.facebook.com/436080756437453/posts/3608653825846781/>)

4 その後

その後は生活環境が大きく変わり、社会に出ることによって大好きだった夜空を眺める機会が減ってしまう。せいぜい七夕の夜か月食などの大きな天体イベントがある時に、夜道を歩きながら思い出したように空を見上げるくらいのものである。

そんな時、予期せず見つけた流れ星に癒され「また明日がんばれそう」と勇気づけられたりしたことを今更ながらに思い出す。

そして、大人になるってツ・マ・ラ・ナ・イものだなと考えたりもしていた。

そんな、星とはかけ離れてしまった生活が子どもたちの存在によって大きく変わった。この2人の子どもたちもまた「星が好きな子」だと気づいたのだ。

その頃は星に興味を持たない人でさえ夜空を見上げたくなるような出来事が続き、かのハレー彗星をもしのぐ440年ぶりの巨大彗星といわれた1996年の「百武彗星」や1997年の「ヘール・ボップ彗星」など大きな天体ショーがあったことで、子どもたちと一緒に空を見上げるが増えた。

5 礼文島に住んで



(<http://www.reikyo.jp/reishou/> 現在の礼文小学校校庭/礼文小学校ホームページより)

1996年の3月には主人の職場の異動で「礼文島」に住むことになり、この土地は小学校の校庭や灯りが消えた後の港など、とにかく何処にいても良く星が見える。

学校の保護者の中には夫婦揃ってプロの写真家という方がいて、仕事用の超望遠のカメラを校庭に設置して希望者に見せてくれたことで、天文台のない不便な環境でも、子どもたちと空を見ながら会話するには十分すぎる時間を過ごせたと思う。

高台にある校庭は浜風が強く吹き刺さるような寒さの中での観測会ではあったけれども、ご夫婦の自然や教育に対する熱意には頭が下がる。

6 再び名寄に

2年間の島生活を終え戻ったのは、私の故郷である「名寄」だった。

その年[1998年]夏の「ペルセウス流星群」は、条件が良ければ1時間当たり80個以上もの流星が観測されると言われていたように思うが、偶然に地方新聞か市の広報紙で「木原天文台による観測会」があると知り、そのことを子どもたちに伝えると即答で「行きたい!」というので、20時頃に観測会場の智恵文小学校(智北小だったかもしれない)へ家族で出かけることにした。

天文台の担当者が5人ほどいただろうか、設置された望遠鏡も大小合わせて3基ほどで私たちを

含めて20人ほどの素人観測家がいたと思う。校

庭の隅に遠足シートを拡げ、家族4人が並んで仰向けに寝そべり夜空を見上げ流星を待ったのだが、期待ほど多くの流星が現れてはくれなかった。

8月というのに寒い日で、持参した毛布だけでは長時間の観測は無理と断念せざるをえなかったけれども、それでも1時間ほどの観測で3~4個の流星を見つけた子どもたちは、この日の記憶を

しっかり脳裏に焼き付けたようで今でも時々話題になる。

息子、小学6年生。娘、小学2年生。貴重な経験をさせて頂いた。

翌年は「天の川が見たい」と言う娘の希望で、巷で噂の星が良く見えるといわれていた峠道で車を停めサンルーフから観測した。娘は言葉もなく、ただただ瞳を輝かせて空を眺めていた。

7 旭川に移住

その後、数年を経て旭川市科学館に縁ができ現在に至る。天気にも恵まれた流星群の日には、たとえ深夜でも車を走らせて街灯の少ない場所を探しては娘と2人でミニ観測したり、何となく星空を見上げては見知った星座を見つけて神話を語ったりして楽しんでいる。同好会主催の観測会に参加し、素人だけでは体験することのできない時間を過ごさせてもらえるのは、わずかししか知識のない私でも楽しい。

父とあの日見た流星群が、私と星を繋ぐ最初の一步になったことは間違いないのだけれど、私の子どもたちが星好きになったキッカケは何だったのだろうと今でも考えているが分からない。

そして、当時子どもたちと同じ年頃の孫をもつ年齢になっても、私の《ゆるい星フェチ》は終わらない。

サイパル屋上での小惑星の測光観測

臼 杵 朱 莉 (うすきね あかり)

北海道教育大学旭川校の理科教育専攻天文学ゼミ (関口朋彦先生) に所属していた際に、平成 29 年度学士論文として旭川市科学館サイパルの 65cm 望遠鏡をお借りして、小惑星の測光観測を行い、小惑星分類について考察しました。その内容について紹介させていただきます。

1 はじめに

1-1. 小惑星研究について

2010 年、日本の探査機はやぶさが、小惑星イトカワへ行き、サンプリング調査を行って地球へ帰還したように、昨今では科学技術の発展とともに小惑星調査への意義が注目され、研究が進められている。

小惑星は、太陽系が形成された当時の記録を保持している天体であると考えられており、小惑星を調査することで、太陽系の誕生や生命の誕生について解明されることが期待されている。

そこで本研究では、小惑星データを増やすために、まだ研究が進められておらずスペクトルタイプが未知な小惑星を可視光の範囲で多色測光観測し、その分類から小惑星の表面組成の考察を行った。観測は、旭川市科学館サイパルの 65 cm 反射望遠鏡をお借りし、本校天文学ゼミ所有の冷却 CCD カメラを設置して行った。

1-2. 研究の目的

- (1) スペクトルタイプが未知な小惑星について測光観測を行い、スペクトルによる分類から小惑星の表面組成を検討する。
- (2) 旭川市科学館サイパルの 65 cm 反射望遠鏡の研究利用を検討する。

1-3. 小惑星の概要

太陽系に存在している 8 つの惑星と 3 つの準惑星、それに付随する衛星以外の太陽系天体を総称して小天体と呼ぶ。小天体はさらに小惑星と彗星に分けられ、小天体の中でもコマや尾を伴っていないものは全て小惑星に区分される。さらに、小惑星は ①軌道要素と ②表層組成の 2 つの観点で分類することができる。

① 軌道要素による分類

主に軌道長半径をもとに、メインベルト小惑星、トロヤ群小惑星、地球近傍小惑星の 3 つに分けられる。

② 表層組成による分類

小惑星の表層組成、すなわち小惑星表面の観測からわかるスペクトルによって分類が行われる。小惑星の組成については、地球に落ちてきた、小惑星の破片である隕石をもとに分類される。スペクトルの観点による分類方法はいろいろあるが、基本的には次の 5 つに分けられる。

◆ C タイプ小惑星

炭素質コンドライトというケイ酸塩の球粒 so 組織 (コンドリュール) をもつ未分化の化学組成のもの。代表例: リュウグウ

◆ S タイプ小惑星

表層物質は普通コンドライト、輝石、かんらん石が主な構成物質である。代表例: イトカワ

◆ X タイプ小惑星

アルベドの違いによって P タイプ (変成したタギシュレイク)、M タイプ (エンスタタイトコンドライト、エコンドライト)、E タイプ (オーブライト) とさらに細かく分類される。

◆Dタイプ小惑星

炭素質コンドライトよりも始原的な隕石（タギシュレイク隕石）に対応する。

◆Vタイプ小惑星

主な構成物質は輝石であり、玄武岩質隕石であるHED隕石に対応する。数が少なく、その多くが小惑星ベスタ起源のものであり、メインベルト小惑星のうちの数%のみである。

2 観測

2-1. 観測の概要

天文学における研究のなかで、本研究は、観測を行い、そのデータを解析して行うものであるため、観測天文学に分類される。さらに観測天文学のうち、使用波長により、可視光天文学に分類される。また、観測の手法によっても、測光・分光・偏光の大きく3つに分類することができるが、本研究では小惑星のスペクトルタイプを導出するため、可視光測光観測を行った。

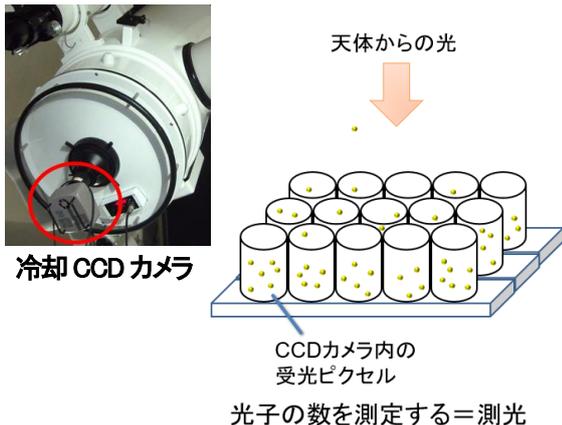


図2 冷却CCDカメラを用いた測光観測のイメージ

2-2. 観測対象の決定

NASAのホームページより、JPL (Jet Propulsion Laboratory) 中の「SB What's Observable」から天体の情報を入手した。スペクトルタイプが未知なものの中から等級や観測可能時間などを含めて判断し、

☆小惑星 1884 Skip(1943EB1)

☆小惑星 646 Kastalia(1907AC)

を観測対象とした。

2-3. 観測場所

旭川市科学館サイパルの職員さんの協力のもと、望遠鏡設備を使用させていただき、観測を行った。

施設名	旭川市科学館サイパル
位置	北緯43度45分23秒 東経142度22分13秒 標高143m
住所	北海道旭川市宮前通東
望遠鏡	大天文台 ドーム直径8m 口径65cmカセグレン式反射望遠鏡 小天文台 ドーム直径5m 口径20cm屈折式望遠鏡

2-4. 観測機器

☆天体望遠鏡「GNF-65(三鷹光機株式会社)」

☆冷却CCDカメラ「STL-6303E (SBIG社)」

☆CCDOPS (SBIG社)

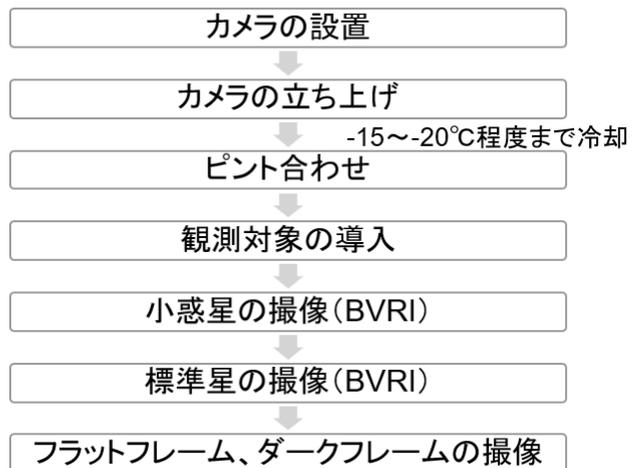
☆光電測光用ジョンソンフィルターB、V、R、I

※冷却CCDカメラ内の素子には、色識別能力はないため、カラーフィルターを用いて波長透過率の違いから色分解を行った。

☆GUIDE9

☆ステラナビゲーター (Astro Arts)

2-5. 観測手順



2-6. 観測記録

旭川市科学館サイパルでは、2017年8月1日、8月2日、10月19日、10月25日の計4日観測を行い、453枚の撮像データを得た。そのうち、10月25日に取得したデータを用いて解析を行った。

天候が良く、観測可能と考えられる日を選んで観測を行ったが、観測者の技量不足による手際の悪さ、望遠鏡設備の不具合、シーイングの悪化等により、有効に解析ができるデータが取得できていない日もあった。

夜遅くまでの観測にも関わらず快く協力していただいた、天文台職員のお二人には感謝しかない。

3 解析

解析には、すばる天文台画像処理ソフト Makaliⁱ (マカリ) を使用した。

〈画像処理の流れ〉



3-1. 一次処理

物理量の測定を行うため、観測装置に由来するバイアス、ダークノイズ、感度ムラなどを補正するために、一次処理を行った。一次処理には、シャッターを開かずに撮像したダークフレームと、望遠鏡に一樣な光を入れて撮像したドームフラットフレームを用いた。

3-2. 測光

マカリの測光機能を用いて、一次処理後のオブジェクトフレームに対して測光を行った。小

惑星と標準星のそれぞれを測光し、天体のカウント値を得た。

3-3. 等級の算出

得られたカウント値をポグソンの式に当てはめて等級を算出した。

m_1 : 標準星の等級 m_2 : 小惑星の等級

I_1 : 標準星のカウント値

I_2 : 小惑星のカウント値

$$m_2 = m_1 + 2.5 \times \log_{10} \left(\frac{I_1 / \text{標準星の露出時間}}{I_2 / \text{小惑星の露出時間}} \right)$$

3-4. 誤差の算出

マカリで測光した測光結果は、オブジェクトのカウント値からスカイ（背景）のカウント値を引いたものであるため、オブジェクトとスカイの両方の測光誤差を足し合わせた。

$$SD = \sqrt{(\text{ObjSD})^2 + (\text{SkySD})^2}$$

また、カタログの標準星の等級にもわずかながら誤差があるため、それも考慮し、小惑星の等級の最大値と最小値を求めた。

3-5. カラーの算出

B V R I の各フィルターの等級からカラーの算出を行った。小惑星の分類に用いるため、B-V 等級、V-I 等級、V-R 等級を求めた。

3-6. 太陽カラーの補正

ポグソンの式を使って求めた値は、太陽光も含まれた反射光からのデータである。そのため、太陽カラー (B-V=0.649、V-R=0.370、V-I=0.726 Bessell(1998)) を引き、小惑星の色指数データを求めた。

3-7. 二色図へのプロット

求めたカラーを他の小惑星のカラーと比較し、分類を行うために、Bus&Binzel (2002) より、B-V vs V-R、V-I vs V-R のグラフを作成した。

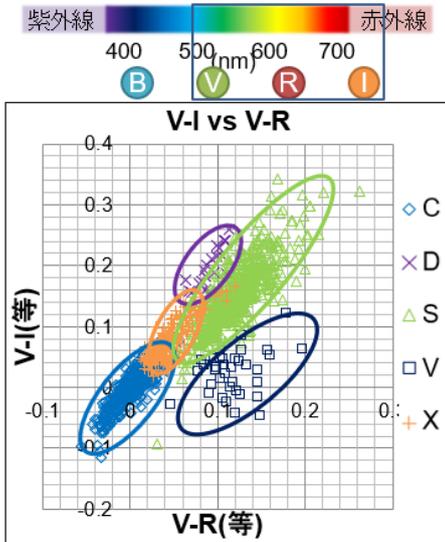
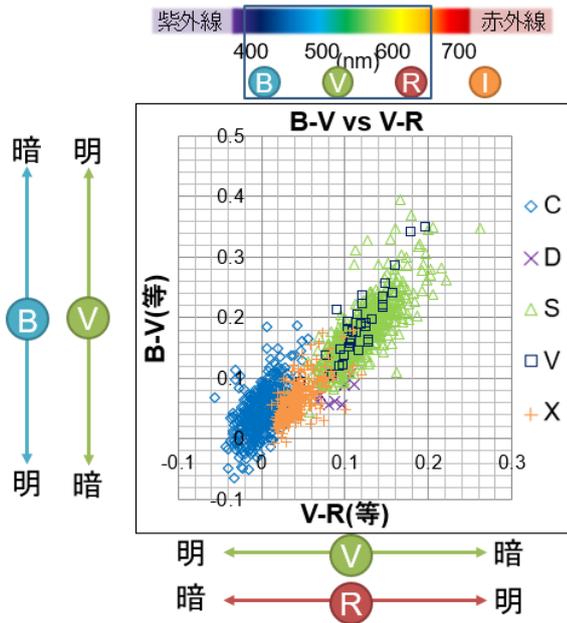


図3 二色図の例

二色図は、スペクトルタイプの分類が確定されている1341個の小惑星のカラー等級のデータをグラフにプロットしたものであり、各タイプの分布から、タイプごとのカラーの特徴を推測することができる。このグラフでは、縦軸横軸ともに単位は等級であり、値が小さくなるほど明るくなることを示しているため、グラフ上で上に位置するほど、波長の長い光で反射率が高い（明るい）ということになり、下に位置するほど、波長の短い光で反射率が高い（明るい）

ということになる。例えば、Cタイプ小惑星は、他のタイプの小惑星に比べ、波長の短い光の反射率が高く（明るく）、波長の長い光の反射率が低い（暗い）という特徴がある。このグラフに、観測対象の小惑星のカラーをプロットし、タイプの推定を行った。

4 結果

4-1. 1884 Skip (1943 EB1)

各等級からB-V、V-R、V-Iを求め、太陽のカラーで引いたものが以下のとおりである。

$$B - V \text{ [mag]} = 0.020 (+0.040 - 0.040) \text{ [mag]}$$

$$V - R \text{ [mag]} = 0.137 (+0.007 - 0.007) \text{ [mag]}$$

$$V - I \text{ [mag]} = 0.171 (+0.008 - 0.008) \text{ [mag]}$$

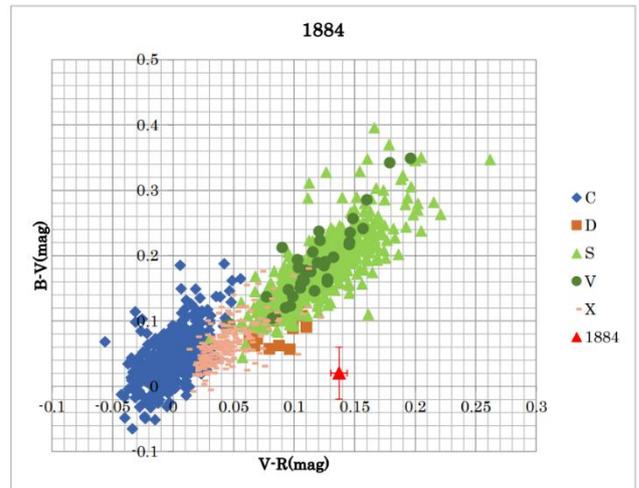


図4.1 小惑星1884 B-V vs V-R 二色図

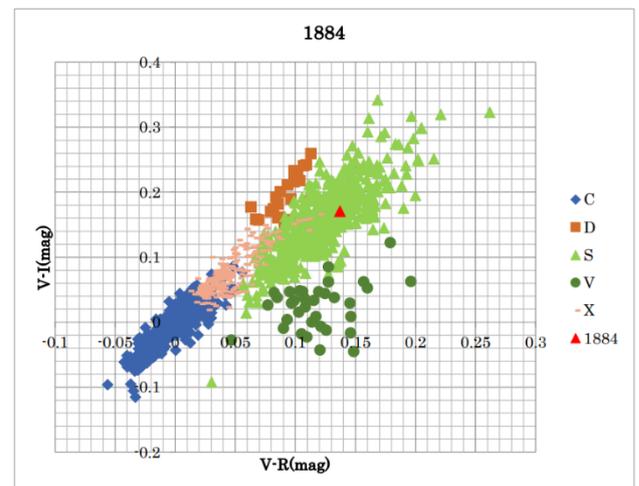


図4.2 小惑星1884 V-I vs V-R 二色図

4-2. 646 Kastalia(1907AC)

各等級から B-V, V-R, V-I を求め、太陽のカラーで引いたものが以下のとおりである。

$$B-V \text{ [mag]}=0.073(+0.041-0.041) \text{ [mag]}$$

$$V-R \text{ [mag]}=0.131(+0.005-0.006) \text{ [mag]}$$

$$V-I \text{ [mag]}=0.012(+0.008-0.008) \text{ [mag]}$$

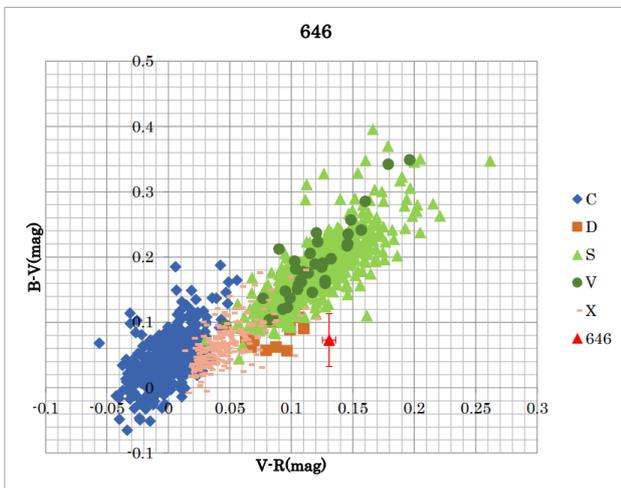


図 4.3 小惑星 646 B-V vs V-R 二色図

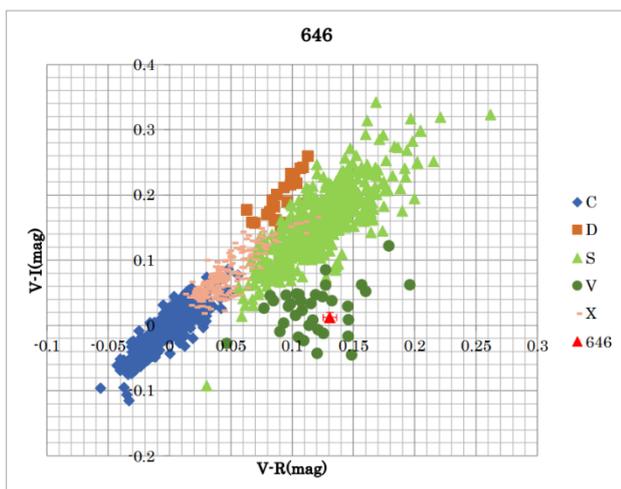


図 4.4 小惑星 646 V-I vs V-R 二色図

5 考察

小惑星 1884 及び 646 の両方とも、上記の解析手順により得た値で二色図にプロットを行ったが、小惑星のタイプを特定できるだけの有効な結果は得られなかった。そこで、さらに複数観点から補正を行った。

5-1. 1884 Skip (1943 EB1)

① 大気減光の補正

地平高度の差により、大気減光の条件が異なるため、小惑星と標準星は本来同じ高度のものを使用すべきであるが、本研究の観測時間で得られたデータでは小惑星と標準星との間に地平高度 14.2 度～19.4 度と差があった。そこで、三鷹市での大気減光の実測値の研究をもとに減光度を推測し、測光結果に反映した。

② 空の状態の変化による誤差（肉眼ではわからない雲等の変化）

小惑星の測光が正確であるかを確かめるために小惑星画像内の恒星についても測光を行ったところ、画像ごとにばらつきがあり、最大で 0.13 等ほどの差があった。この差は大気状態の変化によるものと仮定し、差がなくなるよう補正を行った。

③ 小惑星自身の自転による変化

小惑星 1884 は先行研究により、自転周期が判明している。自転周期は 3.079 時間であり、自転による明るさの変化は約 0.2 等である。

本研究で観測を行っていた時間は 0.95 時間であるが、その間に小惑星自身の自転により、等級が変化していると考え、撮像時刻とカウント値の変化傾向から観測中に自転による最大等級を迎えたと仮定して補正を行った。

上記 3 点の補正を行った値を二色図にプロットしたものが次のとおりである。

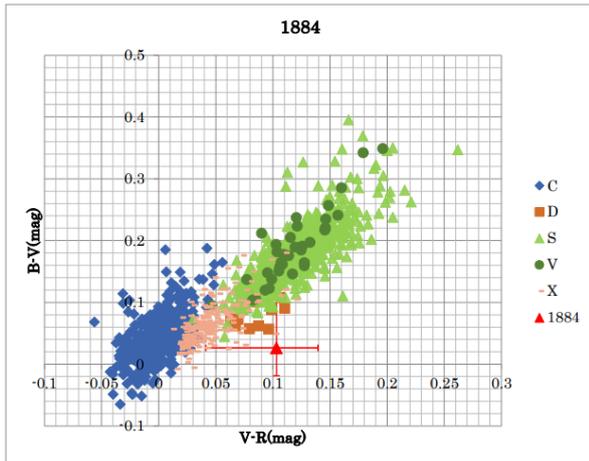


図 5.1 補正後小惑星 1884 B-V vs V-R 二色図

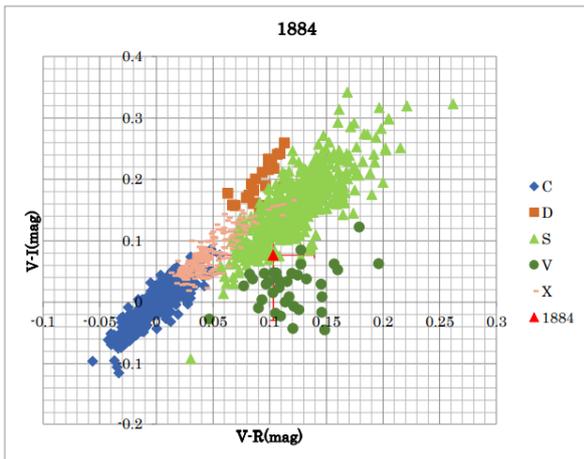


図 5.2 補正後小惑星 1884 V-I vs V-R 二色図

B-V vs V-R 及び V-I vs V-R の二色図両方に該当する点から小惑星 1884 は S タイプ小惑星である可能性が高いことが推測できる。S タイプ小惑星は、地球に落ちてくる隕石のうち、普通コンドライトに対応し、輝石、カンラン石が主な構成物質である。

小惑星の表面物質のサンプリング調査が行われている小惑星イトカワも S タイプ小惑星であり、その調査結果から、カンラン石、輝石、斜長石、トロイライト（硫化鉄）、テーナイト（鉄ニッケル金属）、クロマイトなどの鉱物により構成されていることがわかっている。

5-2. 646 Kastalia(1907AC)

小惑星 646 については標準星とほぼ同じ高度でデータを取得できたため、上記①の大気減光の補正は行う必要がなかった。また③の小惑星自身の自転による変化についても小惑星 646 は自転周期が解明されておらず、本研究で得られたデータからも自転周期を推測することはできなかったため、補正は行わなかった。

小惑星画像内の恒星について測光を行い、測光値の変化から、②空の状態の変化による誤差（肉眼ではわからない雲等の変化）のみ補正を行った。その結果が次のとおりである。

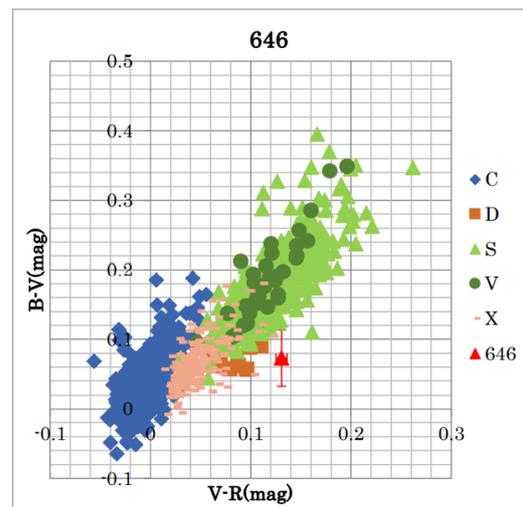


図 5.3 補正後小惑星 646 B-V vs V-R 二色図

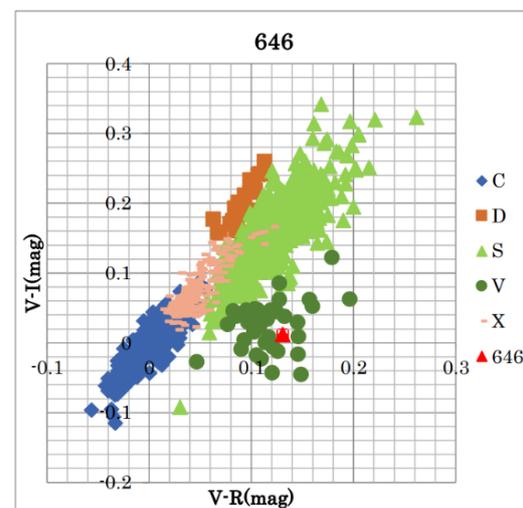


図 5.4 補正後小惑星 646 V-I vs V-R 二色図

小惑星 646 は二色図のプロットからはSタイプ小惑星かVタイプ小惑星かのどちらかである可能性が高いが、一つのタイプを決定することはできなかった。Vタイプ小惑星はその多くが小惑星ベスタ起源のものである。そこで、小惑星 646 とベスタの軌道要素の比較を行った。

	4 Vesta	646 Kastalia
離心率 (e)	0. 8915	0. 2131
軌道長半径 (a)	2. 3618	2. 3251
近日点距離 (q)	2. 1512	1. 8296
軌道傾斜角 (i)	7. 1400	6. 9009
公転周期 (p)	1325. 7	1295. 0
自転周期 (r)	5. 3421	-

軌道長半径, 軌道傾斜角などは値が近く、小惑星 646 がVタイプ小惑星である可能性も否定できないが、小惑星 646 は自転周期などもまだ観測されていないことから、タイプを判別するためには、ライトカーブ観測なども行う必要がある。Vタイプ小惑星であるとする、HED隕石に対応し、玄武岩質で鉄やマグネシウムに富む輝石の割合が大きい小惑星である。

しかし、本研究ではSタイプ、Vタイプのどちらであるか、もしくはそのどちらでもないか判断することはできなかった。

旭川市科学館サイパルでは望遠鏡操作をステラナビゲーターで行っていることから、小惑星のような移動天体を追尾することはできなく、通常の恒星追尾のみで観測を行った。150秒で撮像したところ、小惑星が点ではなく楕円状に伸びてうつつた。

測光する際には測光円の半径を広げ、楕円になってしまっている小惑星がすべて入るように測ったが、望遠鏡自体の追尾性能の低さか、カメラの設置の甘さ等の原因で、本来は円形で写るはずの恒星も横に伸びてしまっているものも

あったため、画像ごとに測光値にずれがあったと考えられる。

また、マカリでは自動で輝度重心を検出し、測光円の中心を求めることができるが、楕円に伸びてしまっているため、重心位置も不安定であり、測光するたびに少しずつ値にずれがあったことも、要因の一つではないかと考えられる。

さらに、小惑星 646 は撮像した日には視等級で 14.5 等程度であり、150 秒で撮像しても S/N (シグナル/ノイズ) の低いデータのみしか得ることができなかったことも、原因の一つであると考えられる。

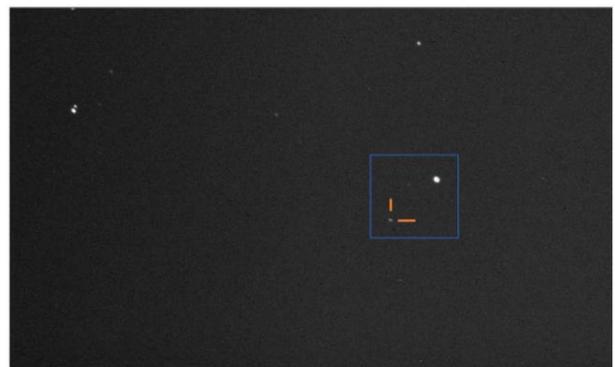


図 6.1 本研究で得られた小惑星画像

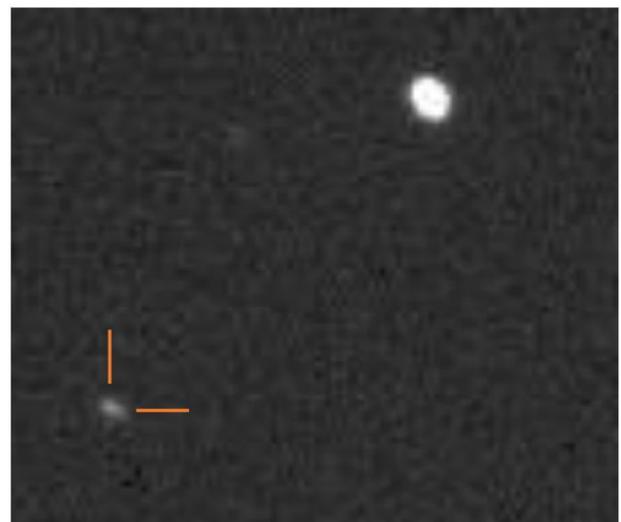


図 6.2 本研究で得られた小惑星画像の拡大図

6 まとめと今後の展望

● 1884 Skip(1943EB1)

大気減光補正、オブジェクトフレーム内の恒星を用いた補正、自転周期を考慮した補正を行い、Sタイプ小惑星であることを推測することができた。

● 646 Kastalia(1907AC)

望遠鏡の追尾性能等の問題で星像が伸びてしまった画像があることや、取得したデータのS/Nが低かったことなどの原因で、タイプを確定することができなかった。

よりS/Nの高いデータを取得し、カラー測光を行うことに加え、ライトカーブ観測を行い、自転周期などの物理量も検討する必要がある。

今回は、問題点として望遠鏡の追尾精度の不安定さによる星像の伸びや、取得したデータのS/Nの低さなどがあげられた。今後も旭川市科学館サイパルでの観測を行う場合、旭川市での大気減光係数の導出や旭川市科学館サイパルの65 cm望遠鏡についての追尾性能や限界等級の評価なども行い、正確な観測を行える環境を整えることも必要である(いつか機会があればぜひ関わりたいな...)。

加えて、今回の観測では、市の施設を使わせていただき、職員さんにも本来の勤務時間外に長時間お世話になることになってしまうため、一晩を通しての長時間の観測を行うことができなかった。今後も研究を行うのであれば、科学館の研究利用の体制についても検討を行う必要がある。

7 参考文献

☆SB What's Observable

☆Phase II of the Small Main-Belt Asteroid

Spectroscopic Survey: A Feature-Based Taxonomy

Schelte J. Busa Richard P. Binzel 2002

☆Photoelectric Photometry of Ten Small and Fast Spinning Asteroids

Di Martino, M.; Dotto, E.; Barucci,

M. A.; Fulchignoni, M.; Rotundi, A. 1994

☆SBIGJapan 国際光器

☆シリーズ現代の天文学 9 太陽系と惑星

渡部潤一・井田茂・佐々木昌[編] 日本評論社

☆シリーズ現代の天文学 15 宇宙の観測 I-光・赤外天文学 家正則・岩室史英・舞原俊憲・水本好彦・吉田道利[編] 日本評論社

8 あとがき

この度、わたしに旭天への原稿依頼をいただいたこと、大変嬉しく、またありがたく思います。大学卒業から5年以上経過して改めて論文を読み直したところ、勉強不足を感じる点や文章の至らなさ等、自分で幼さを感じて、少し恥ずかしい気持ちになりました。

教育大学で理科教育を学び、天文学を専攻したわたしですが、もちろん天文についても、科学についても、社会についても、まだまだ知識も経験も勉強も修行も足りていないことを日々実感しております。

そんな中でも、こうして旭川天文同好会と繋がりを続けていただけていることに感謝しています。現時点ではあまり活動もできておりませんが、これからも、天文を嗜むみなさま、そして旭川市及び周辺地域の方々の天文教育及び社会教育のお役に立てる機会があればぜひ活躍できたらなとは思っております。

今後ともよろしく願いいたします。ご清覧ありがとうございました。

星雲星団の電視ウォッチング

中西要成

☆星空への期待

美しい星空を眺めていると、自分の目で星空を見たいと思い立ち、数十年前に 15 cm F8 反射望遠鏡を自作しました。

最初に土星を見て驚きました。なんと図鑑の写真と全く同じものが目に飛び込んできました。カッシーニの空隙も見えます。今度は、木星を見ました。縞が 3 本ハッキリ見えます。期待通りの見え味に感動しました。

やがて、銀河や星雲も見たいと思うようになりましたが、初心者には対象天体をファインダーで導入することができず残念な思い出となりました。

1. フィルムカメラでの天体撮影

1996 年の百武彗星、1997 年のヘールボップ彗星の素晴らしい姿を見て何とか記録に残してみたいと思い PENTAX100SDUF と赤道儀を購入し、35 mm フィルムで撮影すると、とても良く写り大変驚きました。



ヘールボップ彗星 (1997/04/03 20:10 鷹栖町)

この写真が契機となり、良く晴れた暗夜には、散光星雲や銀河などの写真撮影に興味を持つようになりました。初め頃の撮影は、一人で上川町旭ヶ丘が暗く好適地なので熊の出没を心配しながらの眼視ガイド撮影でした。

その後 SBIG ST-4 での自動追尾ができるようになり余裕のある撮影や観望が出来ました。星雲の銀塩写真での露出時間は、60 分から 90 分と長時間露光の為、一晩で 3 カット程度の撮影の為、10 枚

撮りフィルムを撮り終えるのに一か月位の時間を要したものでした。その後、現像に出し、出来上がりにワクワクしたものでした。

2. 銀塩写真からデジタル写真撮影へ

デジタル一眼カメラや冷却 CCD カメラの低価格化により、2010 年、私にも手に入れることのできる価格の冷却 CCD カメラ (SBIG ST-8300C) が発売され、数分間の撮影で撮影画像が確認できるのは驚きでした。同じカットを十数枚撮影し、自宅でデジタル現像をしてコンポジットし、画像処理をして完成画像にするのはとても楽しい作業です。

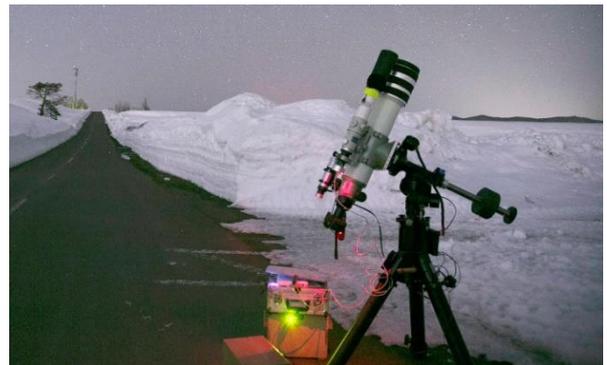
下の画像は、2011/10/27 初めて撮影した NGC 253 で、12 分露出 10 枚をコンポジットし、画像処理したものです。



NGC253

(2011/10/27)

その後、デジタル一眼カメラを天体改造し、色々な対象を撮影して楽しんでいます。



いつもの撮影風景

今まで撮影した写真の中から、お気に入りの画像を紹介します。



カラス座 NGC4038 NGC4039 アンテナ銀河
2022/04/30 20:51 カメラ: CanonEOSkiss6i
鏡筒: PENTAX125SDHF F=6.4 露出: 300秒×12 ISO3200
撮影地: 上川町旭ヶ丘



りょうけん座 NGC4490 まゆ銀河
2022/04/25 21:16 ISO1600 300"×12 Canon kiss6i



オリオン座 M42 2014/09/20 01:10
カメラ: SBIG ST8300C 720"×12 -20°C 上川町旭ヶ丘



C/2020F3 ネオワイズ彗星 2020/07/17 20:32
PENTAX 100SDUF 400mm CANONEOS5Dmark II IR 改造
ISO 3200 露出 30秒 上川町旭ヶ丘



C/2013R1 ラヴジョイ彗星 2013/12/08 04:56
PENTAX125SDHF*0.77RC CANONEOS5Dmark II IR 改造
ISO 1600 露出 90秒×10枚彗星基準コンボジット
河東郡上士幌町

未明から気温が-21°Cまで下がり機器を操作する指が凍りそうな厳しい撮影でした。



C/2021A1 レナード彗星 2021/12/10 04:39
PENTAX125SDHF 800mm F6.4 CANON EOS 6D
ISO 3200 露出 40秒 上川郡当麻町

初冬夜明け前の低空の撮影でしたが、翡翠色の核がとても美しく-12°Cの寒さも忘れさせてくれます。

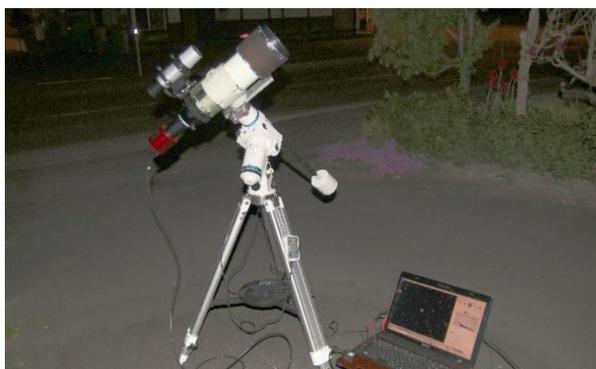
3. 電視観望の実践

星空に興味のある人々と美しい夜空の感動を共有したいと思い、各所で観望会を開催したり、そのお手伝いをしましたが、大勢の来客の時は、長蛇の列となり詳細な観察が難しくなります。惑星や月は、とても見やすい対象で人気があり、クレーターや木星の縞、土星の環などを見て驚く人がいる反面、星雲星団などの淡い対象は、接眼鏡の中央に導入しても、観望したほとんどの人が全く分からないと、がっかりした様子です。



(旭川市内幼稚園 親子観望会の様子)

そこで、従来の高価な冷却 CCD カメラの数分の一の価格で購入できる冷却 CMOS カメラが発売になりましたので ZWO 社の ASI-294MC を購入し、手持ちの鏡筒 PENTAX100SDUF f1=400mm に接続してみました。



(自宅での観望の様子)

撮影コントロールソフトは、ZWO 社の ASISudio でライブスタックしてみます。次のM31 画像は、上記機材に光害カットフィルターを装着し Gain390 binning 1 冷却温度 -5°C 、5 秒露出を 210 フレームスタックしたのですが、10 フレーム程度のスタック画像からノイズの少ないアンドロメダ星雲が現れたのには驚きました。自宅の周辺には、街灯も多く

明るいにも関わらずこれだけ撮れたので、光害地での手軽電視観望ができそうです。



アンドロメダ銀河 (2022/06/25 23:46)

ライブスタック機能で画像を蓄積し重ね合わせる方法は、特に新しい技術ではありませんが、天体カメラの高感度化、高速転送、PC の高性能化の恩恵で、眼視では難しい星雲や銀河の姿を素晴らしい画像を観測地のその場で短時間にリアルタイムに観望できることは、多くの観望参加者が宇宙へ興味を持つ契機となることでしょう。

次の画像は、ZWO ASI294pro のライブスタック撮像です。



M16 5"×100 (2022/06/26 00:36)



M17 5"×50 (2022/06/26 00:23)



M33 5"×100 (2022/09/21 21:42)



M13 2"×28 (2023/05/23 23:42)



M57 5"×60 (2023/05/29 22:40)



M92 10"×32 (2023/06/18 21:44)



M27 10"×50 (2023/05/23 23:25)



M101・超新星 2023ixf 10" *120(2023/06/14 22:38)

電視観望の楽しみは、多くの天文ファンに天体写真で見るとような星雲星団の綺麗な色彩をリアルタイムにパソコンのディスプレイなどで見ることができることだと思います。観望会などでは、これまで以上に喜んでもらえるツールとなるでしょう。大型のモニターに撮像画像を投影するのも有効でしょう。又、参加者がスマートフォンやデジタルカメラでモニター画面を撮影し、それを調べたりコレクションしたりすることにより、新たな天文学宇宙に対する楽しみを見つけ出してくれることでしょう。

今後の観望会には『電視観望』が取り入れられて、益々天文ファン層が厚くなることを期待しています。

末筆乍ら、旭川天文同好会様からの寄稿依頼を戴き、誠に光栄に存じ、感謝申し上げます。

撮影に使用した機材

鏡筒：PENTAX125SDHF 赤道儀：LOSMANDY G11
ガイド鏡：タカハシ FC60+StarShootAutoGuider

442年振りの月食 (月食中に月が天王星を隠す)

柴田 健一



19:15 から 5 分間隔、ただし潜入直前は 20:47 実際は、天王星は止まっていて、月が天王星を隠している
2022 年 11 月 8 日 10cm F4 D810A AXD2 白老町 ウポポイ天文台

月食中に天王星が月に潜入するという珍しい現象で話題を呼んだ、2022 年 11 月 8 日の皆既月食。全国的に天候が良く、秀一な写真がネットを賑わせているが、拙い写真で天王星食を捉えることができたので、紹介する。

G P V 予報は、胆振地方が雨のち晴れ。札幌（石狩地方）が雨のち晴れか曇り。胆振には 8 月に開所したばかりの「ウポポイ天文台」があるので、迷わず白老に決定。現地に着いた 16 時は雨が降り出したが、西の空には太陽が照っていて、北東には、綺麗な 2 本の虹が架かった。雨の予報は、15 分程度の俄雨であった。

どのような写真を撮るか、決まっていなかったが、止まっている月に天王星が近づく写真を思い描き、Nikon D810A + PENTAX 10cm F4 の組み合わせとした。しかし、赤道儀をどうやって月の運行に合わせるか？ 検討不十分のまま、月食に突入した。ところが、月を自動導入すると自動的に月の追尾が始まる設計になっていてラッキーであった。

皆既中、5 分毎に絞り優先自動露出（ISO 200 で約 6 秒）、手動露出 30 秒・60 秒で 1 時間半に亘りシャッターを切った。また、5 分間の合間に双眼鏡で月が天王星に近づいていく様子も観測できた。

写真は、自動露出の比較明合成である。札幌付近では天王星の潜入時は、皆既食が終了した 7 分後で月の縁は明るく輝いている。このため、明るい部分は予め暗く処理してから合成してある。

天気は一時雲がかかったが、撮影に影響はなかった。気温は 11 月の雨上がりにしては、暖かい夜で 5℃。しかし、じっとしていると防寒着を着ていても冷えてくる。5 分おきに 1 分間、車内に戻り暖をとり過ごした。

帰途、千歳付近まで来ると大きな厚い雲の塊が札幌上空を覆っている。札幌の自宅に着いた時はその雲の下であった。

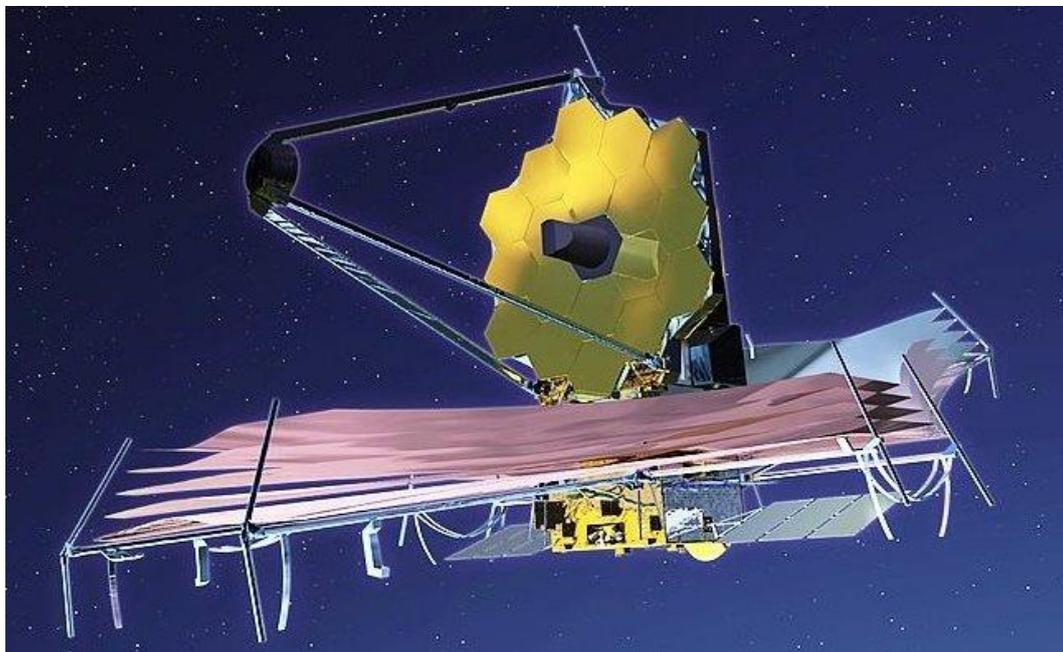
本記事は、下記の三誌に投稿した。

●札幌天文同好会「PLEIADES」、●旭川天文同好会「旭天」、●澄川星の会「Nothern Cross」

ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 & ミニギャラリー

富 樫 一 憲

史上最高性能の「ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡」は、ハッブル宇宙望遠鏡の後継として打ち上げられた。NASAは「この望遠鏡は宇宙の始まりに連れていってくれるタイムマシン」と期待を寄せる。宇宙初期の星「ファーストスター」など宇宙史に刻まれる観測に挑む。



ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST)

1 ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠の打ち上げ

米欧とカナダが共同開発したジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (James Webb Space Telescope : JWST、以下ウェッブ) は、2021年12月25日のクリスマスの日、南米・仏領ギアナから欧州のアリアン5ロケットで打ち上げられた。

望遠鏡名は、アポロ計画などを指揮したNASA第3代長官 ジェームズ・エドウィン・ウェッブ氏 (1906~1992) にちなんで命名された。

その開発は遅延をくり返し、計画が開始された1997年当初の打ち上げ予定は2007年だったが、実際の打ち上げは2021年と14年も遅れた。また、予算規模も最終的に総額100億ドルにまで膨らんだ。

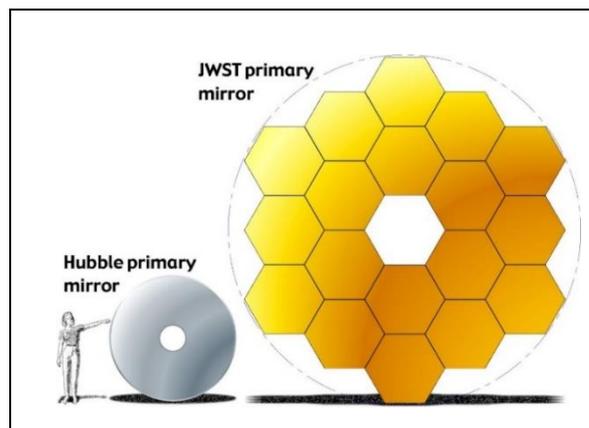
2 史上最高性能の宇宙望遠鏡

ウェッブの大きな特徴は、「目」の役割を果たす直径6.5メートルの主鏡だ。1990年の打ち上げ以来、数々の成果を残したハッブル宇宙望遠鏡(直径2.4メートル、

以下ハッブル)の2.7倍で、面積比は約6倍となる。

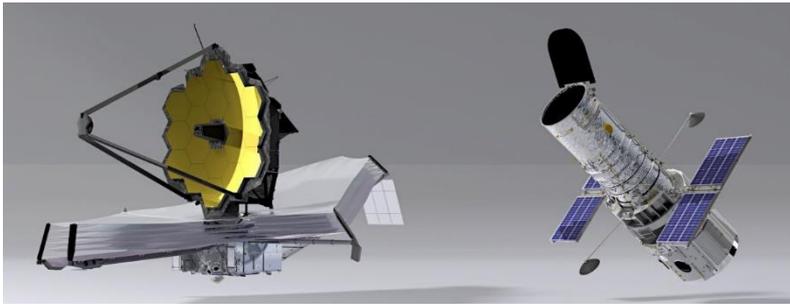
主鏡は、6角形の鏡を蜂の巣の状に組み合わせている(下図)。素材は軽い金属ベリリウムで、表面は赤外線をよく反射する金でコーティングされた。

感度はハッブルの100倍、解像度は40km先にある直径19mmの硬貨を識別できるほどだ。一方、重量は6.2トンとハッブルの約半分にとどまる。



ハッブルの主鏡(左)とウェッブの主鏡(右)の大きさ比較

3 ウェップ(左)とハッブル(左)との比較

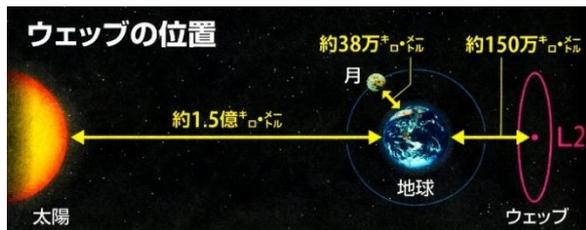


	ウェップ	ハッブル
打上時期	2021年	1990年
主鏡直径	6.5m	2.4m
重量	6.2t	12t
地球からの距離	150万km	570km
軌道	太陽周回軌道	地球周回軌道

4 ウェップの位置 (ラグランジュ点)

ウェップが配置されている場所は、ラグランジュ点2(L2)と呼ばれる地点。そこは、ウェップが太陽と地球から受ける重力と、太陽のまわりを円運動する遠心力がつり合う地点である。また、一旦姿勢を定めると、望遠鏡を頻繁に位置修正せずに太陽と地球からの赤外線を同時に遮光できる利点がある。地球から150万kmも離れており、地球と月の距離の4倍の38万kmもある遠方である。

ハッブルは地表から570kmの地球周回軌道を飛行するため、トラブルが発生すると宇宙飛行士が行って修理できた。しかし、ウェップは月よりも遠方のため、飛行士が行っての修理は不可能だ。



5 魔法の絨毯 (5層構造の日よけ)

主鏡とともに目につくのが5層構造の「日よけ」である。「魔法の絨毯(じゅうたん)」との愛称もあり、大きさはテニスコート並みの全長21m、幅14mで、太陽からの光や熱(主に赤外線)を遮断する。

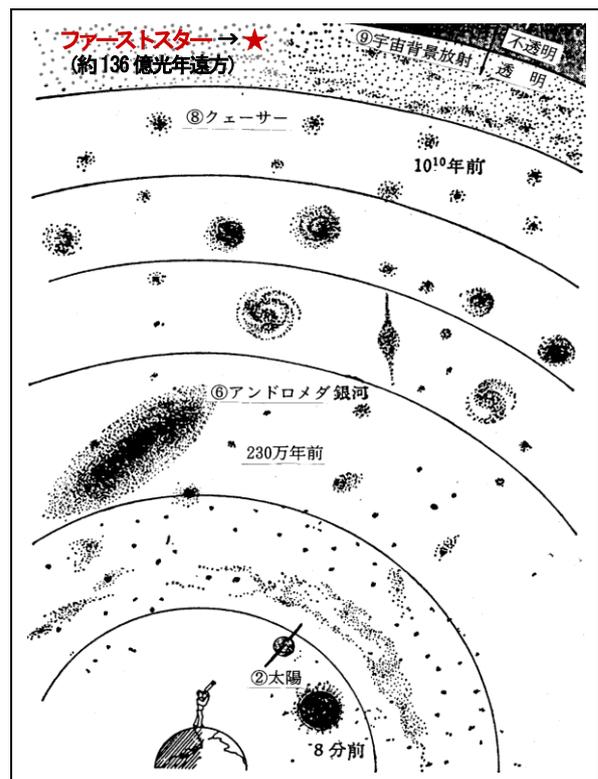
ウェップは遠方の天体からくるかすかな赤外線を観測するため、機材が熱を帯びると赤外線を放出してしまい、観測の邪魔になるからだ。

主鏡や日よけは、打ち上げ時は折り紙のように畳まれ、宇宙空間で2週間かけて展開された。失敗が許されない高難度の手順だったが、トラブルなく成功した。

6 遠くを見ると過去が見える

宇宙では「遠くを見ると過去が見える」に留意しなければならない。天体の観測では、それだけ過去の姿を見ていることになる。例えば、「ファーストスター」観測の場合、約136億年前の過去に発した光が、現在地球に赤外線となって届いている。

天体 or 発生源	距離	観測光	光発生時刻
太陽	1天文単位	光	8.3分前
アンドロメダ銀河	230万光年	光	230万年前
クエーサー	50~100億光年	光赤線	50~100億年前
ファーストスター	約136億光年	赤外線	約136億年前
宇宙背景放射	138億光年	電波	138億年前

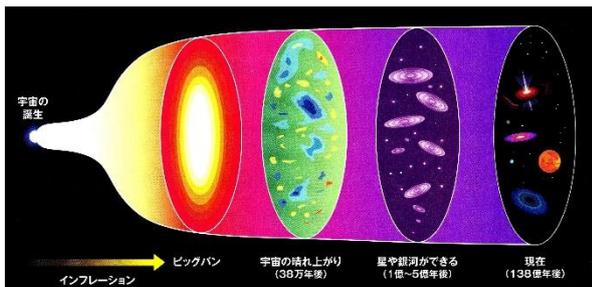


遠くを見ると過去が見える

7 ウェブはなぜ「赤外線」を用いるのか？

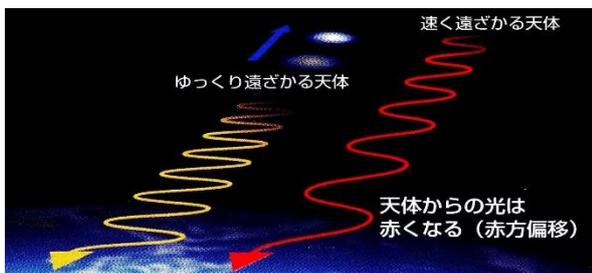
結論からいうと、「ファーストスター」から来るのは赤外線だからだ。ウェブの目的の一つは、宇宙誕生ビッグバンから約2億年後以降に輝き始めたとされる「ファーストスター」を初観測することである。それは約136 (=138-2)億年前以降の天体だから、前ページの「過去の天体は遠くに見える」の原理により、かなり遠方にあることがわかる。

ビッグバン理論によると、宇宙は138億年前に爆発して始まったとされ、その膨張速度は「ファーストスター」のように遠方ほど高速で後退している。

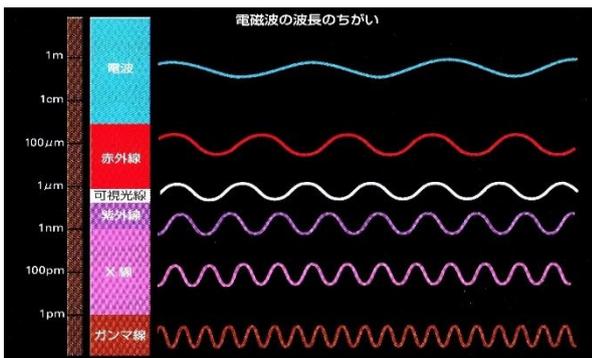


138億年の宇宙誕生ビッグバンから現在まで

そのため、「ファーストスター」から放たれた光はドップラー効果で波長が大きく引き伸ばされ、赤外線となって地球に届く。ウェブが光より長い赤外線で観測する理由はまさにこれなのだ。光や赤外線は同じ電磁波の仲間でも波長が異なる(下図)。



後退する天体が放つ光はドップラー効果で赤色光や赤外線に



電磁波は波長のちがいによって光など様々な種類に分類

8 宇宙初期の星「ファーストスター」の観測

宇宙初期の星「ファーストスター」が爆発して宇宙空間に元素が飛び散り、それらを材料にして次の惑星の形成につながったと考えられている。

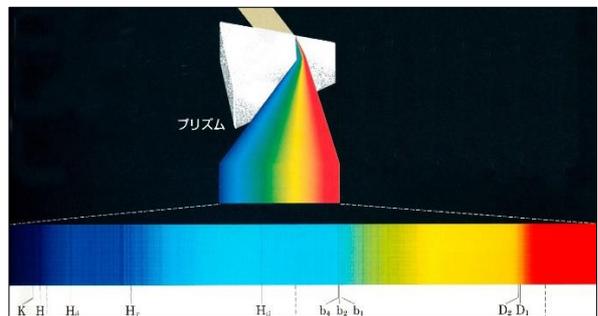
観測に成功すれば、宇宙誕生後の星や銀河の形成過程の謎の解明につながると期待されている。

9 太陽系外惑星に生命はいるか？

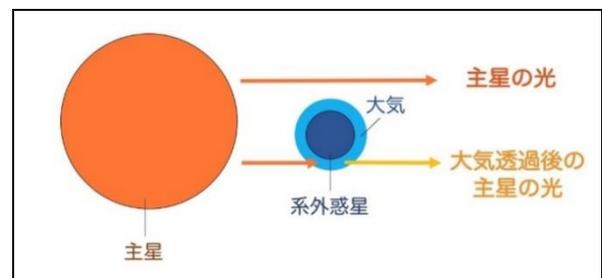
ウェブには、太陽系外惑星で生命の存在に関する手がかりがつかめるかにも期待が集まる。

太陽光をプリズムに通すと、赤から紫までの虹模様ができる。この光の配列をスペクトルという。また、太陽光を気体に通すとスペクトル中に気体特有の波長の暗線が現れる。これが吸収線である。

太陽光のスペクトルと地球大気による吸収線(暗線)



ウェブは、系外惑星の主星(恒星)から放たれた光が惑星の大気を通過するときの微弱な吸収線を観測、どの位置に吸収線が現れるかを詳細に分析する計画だ。それにより気体の種類がわかる。



その結果、もし酸素やメタンなどの分子を検出できれば、それは植物の光合成の産物だ。さらに、酸素呼吸をする動物の存在の可能性も高まる。

人類は、このような巧妙な方法とウェブの精密な観測技術の進歩で、宇宙の中に生命存在の可能性を探ろうとしている。その痕跡や証拠が見つかったら、私たちの宇宙観は劇的に変わるだろう。

10 ジェームス・ウェッブ宇宙望遠鏡ミニギャラリー

最高性能のウェッブはハッブルを凌ぐ素晴らしい画像でネット上を賑わせている。その中からいくつかを紹介しよう。



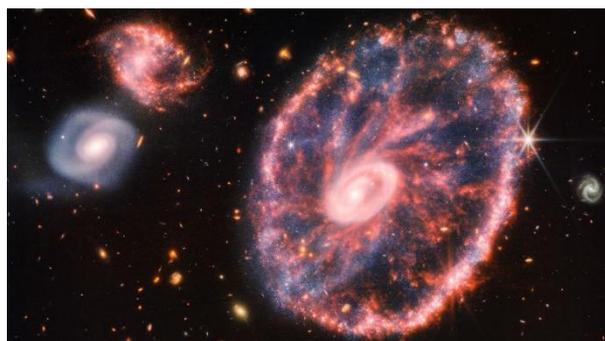
〈イータカリーナ星雲 NGC3324 といわれる星形成領域の端 リゅうこつ座 7600 光年〉
星誕生の領域を初めて明らかにした画像。若い星からの紫外線と恒星風により星雲から彫られている



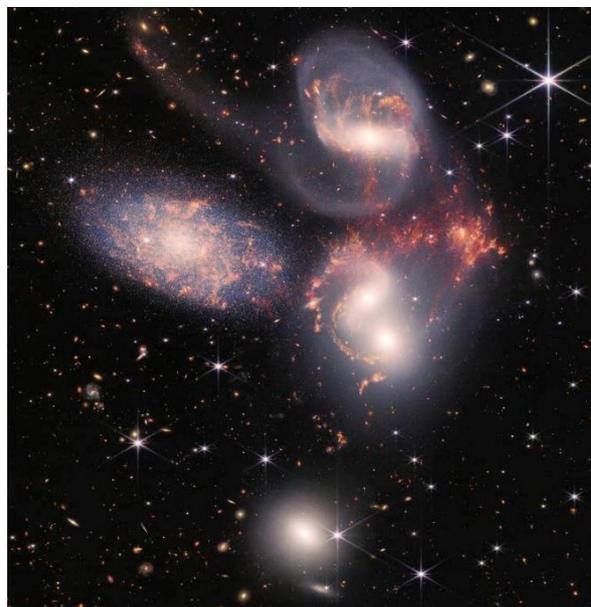
〈創造の柱 M16 へび座 6500 光年〉
無数の星が誕生する水素ガスとチリからなる星形成領域



〈タランチュラ星雲 NGC3324 大マゼラン雲中 16 万光年〉
ガスとチリからなる星雲 青白く高温で巨大な星が多数誕生



〈車輪銀河 ちょうこくしつ座 約5 億光年〉
大きな渦巻き銀河と小さな銀河が衝突してできた環状銀河



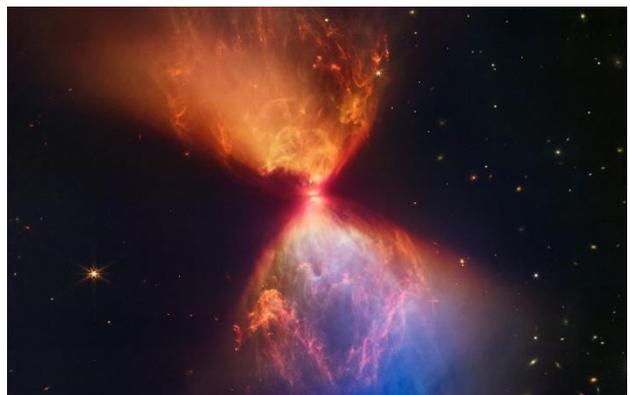
〈ステファンの五つ子 HCG92 ペガサス座〉
グループを構成するのは4 銀河。多数の若い星の星団



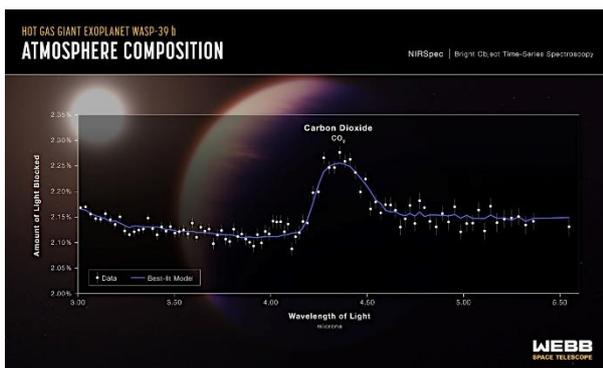
〈ウェブが初めて撮影した「ディープ・フィールド」のフルカラー画像〉
 漆黒の宇宙空間で無数の遠方銀河がきらめく 赤外線画像。初期宇宙の銀河が手前の銀河団で拡大



〈南リング星雲 NGC3132 ほ座 2500 光年〉
 中心の暗い星は何千年の間 ガスと塵の輪を周囲に放出..



〈砂時計星雲 L1527 おうし座 460 光年〉
 中心の原始星から放出された物質と星間物質とが衝突して輝く



〈系外惑星「WASP-39b」(手前の星)とそのスペクトル〉
 惑星大気に吸収された光のスペクトル。二酸化炭素CO₂が存在



〈木星の広角画像〉
 巨大ガス惑星の乱れた大気や大赤斑。強力赤外線観測装置画像

経度0°への旅

～ グリニッジを目指せ！ ついでにパブでビールを！ ～

加藤雅彦

かねてより、イギリスには行ってみたいと思っておりましたが、英文学者出口保夫氏の紅茶・アフタヌーンティーに関する著書を数冊読んだことで、イギリス行きに火がついたのかもしれません。

前年の夏、道新広告に安いイギリスツアー募集があり、興味をそそられ、調べてみたところ、個人で手配してもそれほど差がないことがわかり、例のごとく格安チケットとキッチン付きホテルの旅となりました。当初、レンタカーを借りストーンヘンジとプーさんの故郷を訪ねる予定でしたが、到着してみると冬至を過ぎたばかりで日も短いこともあり、ロンドンの交通事情では運転は無理と考え、遠征はパスしました。

今回は2018年1月9日から16日までの8日間の旅です。千歳発が8:00のため札幌で前泊し、羽田空港へ。何と機材点検のため羽田発が3時間遅れとのこと。であればゆっくり来たものと思いつつ、時間があるので第3ターミナル5階にあるプラネタリウムに向かいました。カフェスタイルでコーヒーを味わいながら星見ができます。

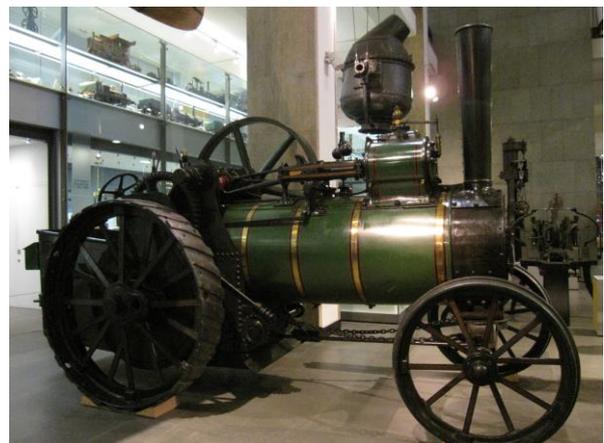
羽田からロンドンのヒースロー空港までは9時間30分程の行程です。日本との時差が9時間ですから、出発時刻と到着時刻がほぼ同じと言うことになります。明るい内に着く予定がホテルには暗くなってから到着したので、散歩は翌日にして、食料と飲み物を購入して、早めに1日目は終了です。

ホテルから歩いて行けるところに科学技術館と自然史博物館がありましたので、まずはそこから見学。公立の博物館等は基本的に入館料が無料です。しかし至る所に募金箱が置いてありました。ここでDonation(寄付)という単語を覚えました。建物の外観はさすが大英帝国！圧巻です。町並みも映画で見たことのあるような古いアパートメントが並んでいます。ただ道路・歩道は日本ほどきれいに清掃されているようには見えませんでした。また、道路が非常に入り組んでおり、碁盤の目に慣れた道民にとっては少々……です。

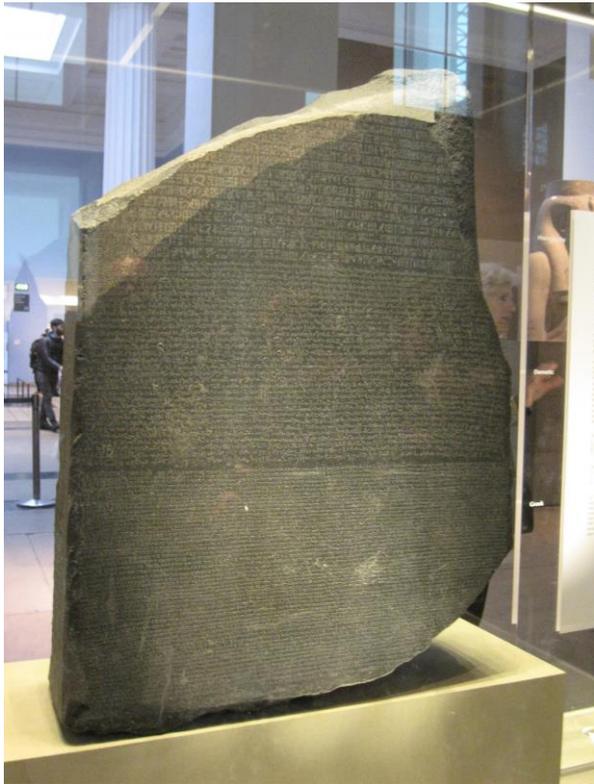


自然史博物館のエントランスにはNHKの番組で見たとおりの鯨の骨格標本が釣り下げられており、来館者の度肝を抜く展示です。以前はディッピーとニックネームを付けられた恐竜の骨格標本が展示されていました。

科学技術館ではさすが蒸気機関を実用化した国



です。ワットの作品や自動車・蒸気で動く工作機械・航空機盛りだくさんでした。



帰国後、スコーンは「スイーツ男子」を目指す私の自慢のメニューになりました。



大英博物館ではとりあえずロゼッタストーンを見たかったので、古代ギリシア・エジプトコーナーへ。探すまでもなく入り口をくぐると本物が鎮座していました。これを含め世界中の宝物・遺物がこの博物館にあることの是非は別として、社会の教科書で見た写真と同じものがあるのは感激です。後日、ビッグベンやウェストミンスター寺院にも行くのですが、中学一年生の英語の教科書で何のこともよく分からず発音していた本物に出会えるのはやはり現地に来てみないと分からないものです。

昔イギリスの貴族社会では、夕食を摂る時刻が遅かったため、腹つなぎとしてアフタヌーンティーの文化が生まれたようです。1段目はサンドイッチ、2段目にスコーン、3段目がスイーツで紅茶を飲みながら、楽しんだようです。下の段からいただくのがマナーです。当然、高級ホテルなどでも供されていますが、敷居が高いので、カジュアルでOKな大英博物館のレストランでいただきました。





ウエストミンスター寺院はエドワード懺悔王により11世紀に建てられゴシック建築のシンボリック存在です。ここでは床そのものが墓石になっており、その下に遺体が埋葬されているとのこと。ニュートンの墓を見つけ、踏みつけることは恐ろしく多く、挨拶をすることができました。その他有名どころではダーウィン・ハレー・ホーキングの墓があるようです。日本の感覚では墓の上を歩くのはちょっとどころか相当違和感があります。また建物を上空から見ると十字架の形をしているとのこと。

ビッグベンは外装補修のため、大時計は見られるものの足場で囲われ残念な状況でした。確認はしませんでした。キンコンカンも聞けなかったような気がします。

グリニッジ天文台はロンドン郊外にあり、電車で向かいます。ここには写真のように経度0度のラインがあり、写真の見た目で右が東経、左が西経となります。自作のGPSを持参するのをすっかり忘れ、次回のお楽しみになりそうです。展示品では年代物の経緯儀や各種時計がありました。屋上の丸い球は13時に上下することにより港の船

員たちに時刻を知らせていたようです。これも天文台の大きな役目でした。



港近くに19世紀に紅茶の運搬で活躍した帆船カティーサークが記念館として展示(?)されています。ボディーのライン・帆の形状どれをとっても帆船ファンのあこがれの的。ショップで設計図のコピーを購入しました。

バッキンガム宮殿では近衛兵の交代式が行われています。ただし、冬期間は毎日ではなく奇数日です。また彼らは赤い制服に黒い帽子のイメージでしたが冬期間はコートを着ているため、グ



レーの制服です。ウエリントン兵舎前から宮殿まで軍楽隊に先導され行進します。宮殿前の道路には半世紀前の北海道の道路を彷彿とさせる、馬の排泄物がコロコロ落ちていました。とにかく観客はすごい人数でした。

テレビ番組カンバーバッチのシャーロックのオープニングに映像が映りますが「エロスの塔」に寄りました。ここはラウンドアバウト（ロータリー）の中央にあり、待ち合わせ場所にもなっているようで多くの人が行き交います。

周辺の建物には日本の電気メーカーの広告などもあり、少々場違いな感じもしますが、古い建物が連なり、「ロンドン」そのままのイメージです。お土産購入のために寄ったフォートナムアンドメイソンは紅茶の百貨店のようで非常に格式高い感じの専門店でした。

キングストン駅にはハリーポッターの映画で有名になった「9と3/4ホーム」のコーナーがあり、記念写真のスポットになっています。壁に半分埋もれたカートと荷物が取り付けられており、これ



を押す格好で記念写真を撮ってくれます。ショップも併設されており、プリントアウトされた写真をここで購入することになります。もちろん例の「カエルチョコ」・「100味ビーンズ」や「杖」などもお土産として飛ぶように売っていました。

ロンドン橋は帆船が通れるように跳ね橋となっています。動力はさすがワットの国、もともとは蒸気機関です。機械室は博物館のようになっており、見学することができます。上部に人道がありもちろん通ることができますが、一部ガラス張りになっており、下の様子が伺うことができます。高所恐怖症(?)の私はドキドキです。

ロンドン市内はチューブと呼ばれる地下鉄が整備されており、バスとの共通券オイスターカードを買えば移動は簡単に安く済ませることができます。日本の車両より少々小さめですがホビット族の私たちにとってはGoodです。どこも同じで朝夕は混み合います。

混み合う中、私が先に電車に乗ったのですが、出遅れた家内はドアの外。えーと思いつつ発車。次の駅で降りて戻るかどうかが考えているところへ、次の便で家内が乗っているのが見えたので安心して乗車。はぐれた場合の対処も考えておくべきでした。そういえばロンドンの地下鉄も世界初でしたよね。

バスは有名な例の赤い2階建てバスです。利用するときは迷わず2階の前側に陣取り、市内観光を楽しみました。

パブも一度は行ってみたいところのひとつです。科学技術館の帰り、ホテルからバス通りに出て歩いていると、パブを見つけ早速チャレンジ。大好



きなビールとイギリスの国民食(?) フィッシュアンドチップスを注文。支払い「最後にレジ」ではなく、その都度です。カードもOKなので簡単です。予習してきたビールを頼むときの単位はポイント(Pint)です。ほぼ 500ml なので日本の中ジョッキ程度でしょうか。

日本のビールサーバーのようにコックを手前に引くと圧力でビールが出てくるものもありますが、ポンプのレバーになっているものもあり、地下室から汲み上げるようになっています。

イギリスのビールは室温で「ぬるい」と言われますが、そこそこ冷えていておいしくいただきました。もちろんフィッシュアンドチップスも揚げたてで美味でした。

ロンドン最後の夜のお楽しみはディナークルーズにしました。いわゆるショーボートなので司会兼エンターティナーの方が少々騒がしい感じですが、テムズ川をゆっくり進み、ライトアップされたロンドン橋を始めミレニアム橋などを眺めながらのディナーは十分に堪能することができました。



食事が終了するとダンスタイム。不調法な私は残念ながらうらやましげに見ているだけでした。帰りがけ夜のウエストミンスター寺院を撮影しました。ほんとは星と一緒に写し込みたかったのですが、ロンドンには晴れに日がないのかと思うくらい晴天がなく残念です。

最終日、空港へ行く前にシャーロックホームズの住宅のあるベーカー街 221Bに寄ることにしました。実際には存在しない住所ですが、その場所は写真のようにショップと博物館(?)になっています。狭い階段を上がり実験器具や書籍などが

展示されたシャーロックの居室やワトソンの寝室などが再現(?)されています。ファンにはたまらない空間でしょう。私もその1人ですが ……。



パディントン駅から空港へ向かうのですが、ここにはその名のおりパディントンの像(?)があり、記念と一緒に映り込みます。我が家にもいく体かのぬいぐるみがありますが、本場での対面は感動もの(?)です。家内はパディントンと何か会話をしていたようです。



今回、訪れることのできなかつた「ストーンヘンジ」と「プーさんの森」は次回のお楽しみにすることにして、ヒースロー空港に向かいました。チェックインまで少々時間があったのでここでもビールとフィッシュアンドチップスを楽しみました。

日本標準時がある経度 135° の明石へはまだ行ったことがありませんが、急に思い立ち経度 0° であるイギリスのグリニッジへ行くができ、良い思い出になりました。

テーセウスの星 -ギリシャ追想録-

畠野 麻衣子

🌸 序章：旅神の誘い

ページをめくる度に現れる怪物、勇ましく立ち向かう英雄たち、どこか人間味を残しつつも超越した存在である神々。数十年前、私はそんなギリシャ神話の世界にのめりこんだ。まともに漢字を書けるようになるよりも早くギリシャ文字を覚え、日本の創世神話を理解するより先にオリュポスの神々を誦じた幼少期。

きっかけとなった存在はプラネタリウムだった。科学館に通うことで星空の中に神話が存在することを知り、天空を通して遠い時代へと想いを馳せた。理科教師であった父と実際の星空を見上げては一つまた一つと星座を描くことで天文の世界の扉を開く日々。長じては師に恵まれたことでその楽しさを知識として広める術を教わり、ついにはプラネタリウムの解説員にまでなってしまった。挙句の果てに今度は「大好きなプラネタリウムのパンフレットをもっと格好良くしたい」という突飛すぎる動機でデザイナーに転身したのだから人間何がどう変わるか本当にわからないものである。

さて、そんな身上であったから当然、私の「世界一いつてみたい国」は長年ギリシャであった。ところが、案に相違してこれでもかというレベルで機会に恵まれなかった。行こう行こうと思うタイミングでことごとく割と大きな障壁が発生するのである。ある年はテロが起き、ある年は国際紛争が勃発、またある年は自然災害に行く手を阻まれた。そうこうしているうちに皆さまご存知のデフォルト事件である。国家が経済的に破綻したわけだから当然のように公共事業が機能しないことは想像に難くない。すなわち病院や国家権力が信頼できる状態にないのだ。何かと無謀な私でもさすがにその状況で異国に飛ぶ勇気は持ち合わせていない。結果、遺憾ながら数十年、かの国から持ち出された数々の美術品を他国で眺めるに留まっ

ていた。

それが、ある年ふとチャンスに恵まれた。チャンスといっても大した話ではない。たまたま年に一度の渡航先を選んでいたのでそのタイミングでギリシャを候補地に挙げたところ、たまたま先述のような障害が発生していなかったというだけの偶然の産物である。幸いユーロもたまたま安かった。

否、人はこれを運命と呼ぶ。少なくとも古代ギリシャ人ならばそう考えたはず。この機を逃す手はないというヘルメスの天啓が私に下ったに違いない。(※ヘルメス神は旅や商業の神です。)

果たして2019年の初夏、私はかのアテナイの地に立つこととなった。



数年前に星空の再現度で話題になった映画「アレクサンドリア」上空。

正直なところ、ギリシャを候補地から遠ざけていた理由はもう一つあった。ギリシャという国が私の中であまりにも神聖化されすぎていたのだ。パリ症候群の例ではないが、人間、美化した理想が現実と乖離しすぎると幻滅から必要以上の嫌悪感を抱いてしまうという。幼い頃に夢の中でオリュポスに暮らしたかつての少女は、憧れの土地をそんな風に失ってしまうことが怖かったのだ。

空港発のバスがアテネの街へと入っていく。崩れた石壁。たむろする若者。かつてないほどの緊張感をもって私はアテネの土を踏みしめた。初めての海外旅行のときにだってこんなに陰しい顔をしてはいなかったに違いない。

降車した先の街は想像以上に雑多であった。見回すとそこかしこに落書きがあり、路上には何だかわからない液体も飛び散っている。建造物の規格も揃っておらず今まで見たどの西欧の街並みとも異なる、寄せ集めとしか言いようのない光景。

しかし、その先にはそこかしこに神殿があった。遺跡があった。古の門があった。泉の跡があった。神代の伝説を今に伝える樹木があった。人々の生活の場と隣接して、当然のようにそこには4000年の時間が鎮座していた。紛う方なき、この地はギリシャそのものだった。

地名にも同様の衝撃を受けた。私がかつて魅せられた物語の中の土地名が、当然のように会話に看板に登場するのだ。コリントス行きの列車、ネメアに向かうバス、テーベが、メガラが、次々と日常風景に登場する。当然のことだろうと思われるかもしれない。あるいは日本でも古都に暮らしたことがある方ならばこの感覚が常なのかもしれない。ところが当方生粋の蝦夷っ子である。何なら旭川近郊から離れたこともない。神話や伝承の世界が現実と結びついているという感覚は、あるいは神殿の存在以上に私にギリシャを認識させることとなった。

懸念した失望などあろうはずもない。今、私はあのギリシャにいるのだ。物語の世界に突然放り込まれたような高揚感だけが乾いた熱気と共に全身に広がった。



生活感あふれる雑多な街並みの中に突然現れる神殿や遺跡。

🌸 テーセウスの足跡

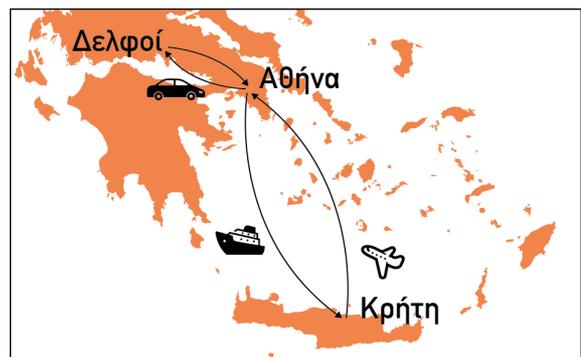
さて、そろそろ旅程の話をしてしよう。

今回、私は一週間でアテネとクレタ島、そしてデルフィを巡ることにした。順路としてはアテネ

→クレタ島→アテネ→デルフィ→アテネ（空港）である。

上記の行程を一瞥し即座にテーセウスの名を連想された方がいらしたとしたら、おそらくは私以上にギリシャ神話に傾倒された経験をお持ちの方ではないだろうか。英雄テーセウスはクレタ島での有名なミノタウロスを倒しアテナイに凱旋して王となり死後その亡骸はデルポイの神託により玉座のあるアテナイへと戻された。ならば我々もその跡をたどりましょうということで、アテネ→クレタ間の往路は船である。エーゲ海を船旅！何とも優雅な話だと思いませんか！しかし休暇はたったの一週間、はっきり言って無茶である。それでも日数の不足は根性でカバーできる、はず。もともとパッケージツアーと相性が良くない私は基本的に完全な個人旅行派だ。よってデルフィへの行程をレンタカーに頼ることにした。だいたい欧州、特に南欧の列車やバスは定刻運行などしないのだ。下手を打てば半日単位の待ちぼうけを食らうこともざらである。その点、伊達にこちらも前哨戦としてラテンな国を転々としていない。異国の時刻表よりはまだ自分の国際免許の方が信じられるという目算だ。

なお、今回は母を伴っての計画である。不安しかない強行軍だが一応は身軽な大人の二人旅。最悪、怪我さえしなければ何とかなるに違いない。



🌸 風の塔

ましてやギリシャは神宿る地。神殿に詣でておけばだいたいうまくことが運ぶと相場が決まっている、ということでひとまず翌朝パルテノン神殿に詣でることにした。参詣に先駆けて必要となるのはチケットだ。事前情報によるとアテネ最大の

観光地は早朝から並んでも長蛇の列を回避できないという。せめてチケットだけでも前日から手に入れておくのが賢明だ。幸いアテネ市内の有名観光地には「共通チケット」なるものが存在する。複数日に跨っての利用も可能なため、私のようなアグレッシブに欲をかくタイプの観光客にはびったりである。最寄りのチケットブースはローマン・アゴラ。観光地のド真ん中であるにも関わらず、案の定こちらにはほとんど人がいない。すぐ隣の「風の塔」ともなるとさらに無人状態だ。

ただこの素朴な塔、見た目に反してその来し方は随分と興味深い存在だったりする。



風の塔の外観。上部の八方向に風の神のレリーフが見て取れる。

1世紀にキュロスの天文学者が建てたという八角形の塔は名前の通り風向きを示すばかりでなく、日時計としても機能していたという。さらには太陽のない日にも日時がわかるよう水時計（クレプシドラ）まで備えていたというから驚きである。

一説には惑星や太陽の運行を再現できるプラネタリウム機能があったともいわれ、世界最古の気象観測ステーションと呼び名されているらしい。が、その大仰な呼び名と機能の割に観光客は驚くほどに少ない。数年前に修復されたとはいえ、今現在は塔の中に何も残されておらず外観も天井付近のレリーフのみ、それもメジャーとは言い難い風神8種では観光客の足を止めるに至らないということだろうか。勿体無いにもほどがある。そう思う一方で古代の最新観測所を独り占めできるというのはなかなか貴重な体験である。しかも中は日陰になっており涼しい！

そう、私が行ったのは夏至の頃。言うに及ばずこの時期のヨーロッパはとにかく陽が長いので観

光に最適との意識からつい例年同時期を選びがちなのだが、ギリシャの初夏はとんでもなく暑いのだ。とはいえ空気が乾燥しているため日本のような肌を覆う湿った熱気とは随分と体感が異なる。日本の夏がスチームオープンだとしたらギリシャのそれはグリルに近い。容赦無く照りつける上火と足元を炙る石の道。しかし日陰に入れば、すなわち火から遠ざかりさえすればすっと冷える。建物の影を利用し日よけを駆使し枝を広げる樹木に身を寄せる、今回の旅行はそんな熱気との闘いでもあった。

そのような状況なので、風の塔から一步外に出た途端、再び上火に炙られる状況が再開する。暑いではなく熱い。何なら痛い。アポロン神は4000年の時を経ても手加減という言葉を知らない。もはやこうなると天日干しの旅人にできるのは、ネクタル（神酒）を求めることのみである。

幸い心得ているギリシャの街角には、そこかしこに冷えたビールを楽しめる店がある。今回の旅行で一番上手くなったギリシャ語は間違いなく「ビール一杯お願いします」だ。

もちろん地酒もある。珍しい地モノのワインは「レツィーナ」。もともとアンフォラを塞いだ松ヤニが溶け込んだといういかにもギリシャらしい由来の酒は、ミントともまた違う針葉樹のスッキリとした香りで熱気をつかの間忘れさせてくれる。

もう一つのおすすめは「ウーズ」。食前酒として好まれる蒸留酒で加水して楽しむ強い酒である。



問題はその水が硬水か軟水かということろだが、いちいちレストランで確認するのは正直難しい。何なら軟水を頼んでも今その水道から汲んだばかりの水道水（どちらかわからない）を出されることもしばしばである。こうなるともはや運

を天ならぬ腹に任せる他ない。良くも悪くもだいたいの部分において大雑把な国なので、些細なことを気に病んでいては食事を取れないのだ。当然ながら衛生面の方も推して知るべしである。

ただそのあたりさえ割り切ってしまうれば食事はどれも本当に美味しい。ドルマという葡萄の葉包みは、あらためてギリシャがトロイアならぬトルコと近い国であることに気づかせてくれる。チーズやヨーグルトも噂通りよく食べる。サラダに丸ごと乗ってくるフレッシュチーズなど毎回ちょっとした外付けHDD一つ分はあり日本人の一月分のチーズ摂取量を遥かに凌駕する量なのだがそれさえも美味しい。島国でもあるので魚介類も然りである。タコも食べればウニも食べる、西欧としては異質なほど海産物のバリエーションにも富んだ国だ。なお「スズキ」というのは観光客向けに片仮名で書かれていてもスズキ（魚）ではなく肉料理という罫もあるので事前調査は行った方がいい。私は混乱して二度ほど引っかけた。



スズキではない何らかの魚。レツィーナワインによく合います。

🌸 追憶の神殿

そんなこんなで、料理と酒に助けられ何とか体力を保ちつつ、翌朝向かったのは白亜の大神殿である。ご存知の通り、かの建造物は小高い丘の頂上にある。それなりの高低差は覚悟しておかねばならない。とはいえ大抵ここまでの有名観光地ならば建造物まで何らかの交通機関が用意されているもの。などとタカを括って向かった先、果たして参道にはバリアフリーのバの字もなかった。石畳が敷かれ草木が払ってあるだけありがたいというべきか。否それすら長年の参列者や観光客の足裏に削られ黒光りしている状態だ。膝にかなり気

合を入れていないとあつけなく足首を持っていかれる。徐々に高度が増す陽射しの下、延々と続く岩と土の道。2500年前のあまりにも忠実な再現に心よりも息が弾みっぱなしである。



歴史の証人である石畳。びっくりするほどよく滑ります。

山頂に見えてくるエレクティオンはぎょしゃ座でお馴染みのエリクトニオスの聖所であったはずだが半身が蛇であったかの王が登るにはどう考えても険しすぎる山道だろう。



エレクティオンのカリアティード。ここにある像は全てレプリカ。

それでも持てる酸素を全て吐き出し尽くして何とか辿り着いた神殿は圧巻の一言である。

と言いたいところだが、生憎と現在は修復中らしい。大柱を見ることは可能だがそこかしこに足場が組まれ重機が入り、写真映えするかと言われると少々答えに詰まる。

一方で、建造途中の神殿を見上げていた2500年前の人々もこうして日々この石柱を仰いではその完成を今か今かと待ち望んでいたに違いないと思うと楽しくもある。当時の神殿は極彩色に彩られていたという。燃えるような赤のフリーズ、目に鮮やかなアーキトレイヴ。黄金をあしらわれた神々のペディメントは、現代に残された白一色の修復品よりもはるかに雄弁だったことだろう。



彩色の一部が残ったままの彫刻。博物館の再現品はもっと派手です。

なお、現在アテネの国立考古学博物館には古代の極彩色を再現するというコーナーがある。精巧に作られたレプリカに当時の彩色を施すという試みだが、それを見る限り色調は相当に派手である。イメージとしては東南アジアの寺院を想像していただくのが一番近いだろうか。好みの問題なので否定するつもりはもちろん無いが、日頃地味な、否、上品な色使いに慣れてしまった日本のいちデザイナーとしては全てを削ぎ落とした英国人の気持ちもわからないではないというのが率直なところだ。少なくともこの極彩色を真っ先に見せられたなら幼い頃の私はここまでギリシャを好きになれただろうか、少々自信がない。イメージ商売やブランディングはいつの世も重要なのである。



もうすぐ修復が完了すると言われてはいるが、果たして…？

エーゲ海の試練

神殿探索を終えたところで、次なる旅程はクルーズとなる。今回はアテネを拠点に「ミルピステ」方式での移動となるため大きな荷物はホテルに預け二泊三日の軽装で港へと向かう。向かうはピレウス、アテナから最寄りの巨大フェリーター

ミナルの一つだ。なお周辺地域はとにかく治安が悪いことで知られるエリアである。日本では地獄の沙汰も金次第だがギリシャの冥府の主は贈賄を嫌うことで有名だ。（※死は誰にでも平等だと考えられていたため。）致命的なトラブルになれば、おそらく金では解決するまい。逆に警察は金で動いてくれそうではあるが。それでも巻き込まれないに越したことはない。怯えながら荷物を握りしめて電車に乗り込むも、願い虚しく車窓の眺めはどんどん悪化していく。線路沿いのアパートの壁などはストリートアーティストの格好の餌食で、無事である確率の方が少ないレベルだ。あわよくば港で海鮮でもなどという淡い期待は既にミジンコよりも小さい。とにかく無事に船に乗り込みたい。

ところが案内表記に従って向かった先、埠頭行きのバス停が無い。頼みの綱である文明の利器もGPSが不安定でうろろと同じところを巡ってばかり。持ち主以上に自分を見失っている。ようやく最後の最後に、明らかに異国人が足を踏み入れてはいけない工事現場を発見したのはバス停を探し始めてから1時間後。その工事現場をまたぐようにして紙一枚を貼っただけの臨時バス停を見出したときには文字通り膝から崩れるかと思った。

しかし埠頭の試練はこの程度では終わらない。テーセウスよ、クレタへの航海は長く険しい旅路の果てなのだ。今度は波止場で迷子になった。古からの埠頭はバルバロイを拒む。

何しろピレウス港は広大だ。海運業の国とは言ったもので、ようやく乗ったバスの運転手がここだここだと良い笑顔で降ろしてくれた先は掘っ建て小屋が1つ2つ並ぶだけの無人の港。船影どころか警備員の一人も見えない。何なら案内看板どころかヘルマ柱すら無い。これは出航どころかうっかりすれば遭難沙汰である。止むを得ない。ハデスには悪いが地獄の沙汰も金次第作戦でタクシーを捕まえることを決意するまで時間はかからなかった。ちなみにギリシャではタクシーを捕まえる際に人差し指を立てるので皆様いつかのピンチのためにぜひとも覚えておいてください。

斯くして1台のタクシーが我々の前で止まってくれた。そもそも車の往来自体が少なく、またも

や1時間以上歩き回ってようやく見つけた1台である。しかしながら必死の形相で人差し指を天に向け説明する旅行者に運転手は笑顔で降車を促した。なぜなら「目の前のあの小屋がチケット売り場だからな！」いっそ嘘だと言ってほしい。

が、もちろん彼の説明は真実であり、それから程なくしてその謎の小屋はチケット交換所へと変貌する。出航1時間前にもなるとどこからともなく人が増え始め気がつくと埠頭は見送りや出迎えの人で溢れかえっていた。アテネ〜クレタ間は直行船で8時間ほど。船室をとらずデッキで休むなら飛行機とそう変わらない価格で行き来できるとあってか大型の家電を買い出しに来る人にも人気なのだという。時間前に人影がなかったのも頷ける、彼らにとって船は気負って乗り込むものではなく、気軽に使える日常の足そのものなのだ。



レストランも完備。1等船室ではシャワーを使うこともできる。

🌸 神話という鍵

やがてエーゲ海が鉛の色に変わり空と水の境界線がわからなくなる頃、陸の明かりが遠ざかるとともに雲間に星がちらつきはじめた。クレタの緯度は東京とほぼ同じであるため、見える星空も日本と大きく変わるわけではない。なのにエーゲ海の真上というだけで何時間でも眺めていたくなるのだから不思議なものである。かつてこの星空をテーセウスも見上げていたのだろうという随想は、日本で星を見上げたとしてそう湧き出るものではないだろう。テーセウスだけではない。イアソンもオデュッセウスも、皆このエーゲ海で星を見上げて船路を行ったのだ。神殿は崩れ神は地上を去り科学が神話を覆い尽くす日が来たはずなのに、星空の中にだけは今なお神話が息づいてい

る。その神話が学問の扉になり得るのだから、天文というのは実に興味深い分野である。

🌸 ミノス王の迷宮

もちろんギリシャ神話が開くのは天文学の扉だけではない。100年以上前にクレタ島に降り立った一人の考古学者もまた伝説に魅せられていた。クレタ島最大の遺跡、クノッソス宮殿の入り口には発見者であるアーサー・エヴァンズの胸像が飾られている。



ギリシャ文明はいくつかの時期に大別することができるが、クレタはその中でも最古の歴史を誇ると自認しているという。一説にはエウロペがゼウス（の化けた牡牛）に運ばれてアジアからやってきたというルーツがその根拠になっているのだとか。ヨーロッパの起源と言われてしまえばたしかにクレタ島はその玄関口にあたる。

そんなクレタが誇る巨大宮殿には城壁が無い。こちらも諸説あって当時は外敵がいなかったとも言われている。いずれにせよ4000年前のエーゲ海沿岸において4階建の超建造物は威容を誇っていたことだろう。ただ、今現在は一部の城壁や床のモザイク、ところどころに設置し直された壺と柱が往時を偲ばせるのみである。

有名な牛の角のレプリカや壁画の修復場所もあるにはあるが、残念ながらその周囲はコンクリートで固められている。それ故にクノッソス宮殿は世界遺産に登録することもできず発掘調査も止まりがちだというのはあまりにも有名な話であろう。草葉の陰で泣いている名匠ダイダロスの肩を叩いてやりたくなる。（※ダイダロスは伝説上、ミノタウロスを閉じ込めるべくこの王宮＝迷宮を造

ったとされる人物。) エヴァンズの功績を称えるべきか誹るべきか、非常に頭を抱えてしまう人類遺産といえよう。



おわかりいただけるだろうか、この残念なコンクリート感。

このようにお粗末ならぬ微妙な修復ぶりではあるが、いくつかの貴重な資料がクレタ島内でのみ見ることができるという点は興味深い。というのも発掘当時クレタはギリシャではなかったのだ。



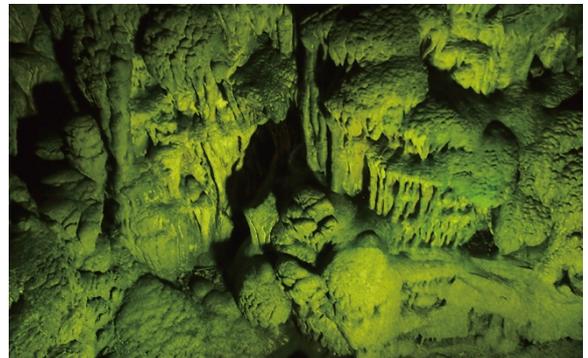
未解読文字 (線文字A) と言われるファイストスの円盤。

故に他のほとんどの遺跡がアテネをはじめとするギリシャ本土の考古学博物館に収蔵されているのに対してミノア文明のものはかなりクレタに遺されている。かの線文字Bの資料も線文字Aことファイストスの円盤もクレタ島に渡らねば目にすることができないとなれば旅行者にとっての希少

性は計り知れない。

失われた古代の巨大建造物も歴史ならば発見に伴う発掘も歴史、その過程で失われた数々の発掘資料も歴史なら、こうして今もってこれらの希少資料が出土地域に保管されていることもまた歴史。4000年の時間の流れを圧縮したかのような島である。

一方でそんなクレタ島中央部には4000年間そのままの姿を保ち続けている遺跡もある。もちろん照明や安全対策等は時代に応じて変化を遂げているのだが、元が自然の造形物だけにこちらは人間の手が加わる余地がかなり少ないと見える。ディクティオン洞窟。そこはかの大神ゼウス生誕の地である。



🌸 神の淵源

ゼウスがなぜ暗い鍾乳洞の奥で密かに産み落とされることになったのかという逸話の説明は別の機会に譲るとして、酷暑の山の中腹にいきなり現れる天然の保冷庫に古代の人々が神秘性を見出したのは何やら頷けてしまう。何しろ周囲は枯れ山だ。蒸散を恐れ葉を針のように絞った草が熱気と乾燥に耐えて岩肌に張り付いているという様相は湿気の多い日本の夏からはとても想像できない光景である。

そして当然ながらバリアフリーの概念はここにも無い。片道20分ほど、これまた整備されていない山道を登りきる必要がある。一応、足代わりとなる荷運びのロバがいるのだが今回は時間の都合もあり見送った。そして見送ったことを若干後悔した。足場の悪さが完全に登山道のそれなのだ。パルテノン参道で音を上げていた二日前の自分のいかに軟弱であったことか。おまけに一步踏み

外せばアザミに似た棘の草が容赦なく足を刺してくる。古代ギリシャ人、本当にこの往来をサンダルでこなしていたのだろうか。健脚ぶり以上に皮膚の強さが現代人とは明らかに異なるとしか思えない。



なお時間的制約が過酷になったのは大変いい加減なタクシー運転手の横暴によるものなのだが、何せ人気のない山の中ともなれば旅行者の立場は弱い。夕暮れ時も迫る中、ゴネた挙句に置き去られるリスクを選ぶことはできなかった。良くも悪くもギリシャ人はやはり大雑把で適当なのである。ただ、せっかくスターウォーズで覚えた Negotiation という単語が活躍の機会を失ったことだけは未だにちょっと悔しいので、ここに自戒として書き残しておく。

🌸 星纏う遺跡

さて、クレタからアテネへの帰路は空の旅である。船旅は楽しく優雅なものだがそれこそ時間的制約を考えるとそうそう選べる手段ではない。何せ最短で8時間だ。その点、飛行機は片道50分。ダイダロスも翼を作ろうと思うわけである。(※ダイダロスはイカロスの父親。)

あっという間に見えてくる懐かしきアテネの街並み。懐かしきホテル。空港から市街地へのバスも二度目ともなれば慣れたものだ。

ちなみに今回のホテルはリカヴィトスの丘の麓。リカヴィトスはアテネの街並みを一望できる絶景スポットである。とはいえ市街地は先述の通り非常に雑多な建築構造なので日中はさほど見栄えがしない。一方で夜は街灯の色に統一感があるためか遺跡ライトアップのなせる技か、何とも品のある煌めきが浮かび上がる。

おしなべて欧州の街、特に旧市街地や歴史地区と呼ばれるようなエリアは街路灯に低めの色温度を選ぶ傾向にあるが、客寄せのネオンサインも遊興施設の看板も無い夜景はとて一国の首都とは思えないほどに物静かである。



帰国後、シャッタースピードに限界を感じてカメラを買いました。

もちろんこれは見た目の話で、実情としては御多分に洩れず治安は悪い。それでも21世紀にもなつて星空と遺跡が同居できている現実を思えば感嘆の声も漏れようというものだ。

なお、意外なことに遺跡に対する落書きや破壊というのは驚くほど少ない。一部の厳重に管理されている遺跡を除き、ほとんどの遺構は野ざらし&無人管理であるにも関わらず、だ。無論、刑法上の理由もあるだろう。だが街の中を見る限り、そんなことで手を引っ込めるような人格者ばかりであるとはとても思えない。それでも彼らにとっても遺跡は犯すべからざる存在らしい。治安が悪い中でも悪いなりに、現代ギリシャは神代の名残に敬意を払い共存しているのである。

🌸 時を紡ぐ遺物

もちろん、悪い怖いと言ってばかりではネガティブキャンペーンが過ぎる。決して現代ギリシャも怖いだけの街ではない。

アテネに戻ったその足で向かったのはケラメイコスと古代アゴラ。ケラメイコスは古くは陶工が集まっていた地区である。そして彼らが美しい彫刻を施した墓地が所狭しと並んでいる場所だ。

今なお水路や談話室の痕跡が見られる庭内は平和そのもの。庭の一角では何故か大量の亀が暇そうにイチジクを食っている。治安治安と不穏なことを書き連ねたが、遺跡の中は亀が昼寝をできる

ほど平穏なのだ。

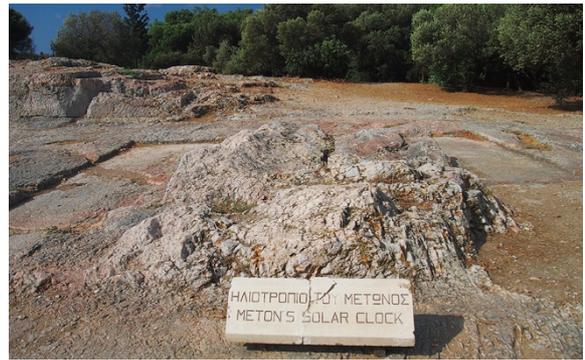


アテネの国立天文台もそんな平和な観光地の一角にある。古代アゴラからほど近い、とはいえ丘ひとつ登らなければたどり着くことができないその場所は、眺望スポットでありながら目的のない観光客が足を運ぶには少々遠い位置関係だ。1829年のギリシャ独立後に最初に建設された科学研究機関というマニアックな触れ込みに心躍るタイプの人間向けである。



ただタイミングさえ合えば夜間観望会への参加はもちろん、ギリシャ最初期の望遠鏡を見ることも叶うというかなり熱いスポットでもある。19世紀における最も正確な月面地図が作成された現場での月面観望会。言語の壁さえなければ諸手を挙げて門を叩くところだ。しかもこの場所はメトンのヘリオトロープのすぐ近くなのだ。そう、あの「メトン周期」のメトンである。

紀元前433年、メトンはこの場所で四季の不均衡を知った^{*1}。折しも私が訪れていたのは夏至を挟むタイミング。かの天文学者もまた2500年近くも前に同じようにこの場所で夏至の太陽を見上げていたことになる。思わず足元の影を見たのは言うまでもない。アテナイの新年はまさにここに落ちた影から始まったのだ。



観光客が誰一人来ないエリア。かなり近くで堪能できます！

(諸先輩方の誌面をお借りしてわざわざ書き連ねるのは憚られるが)メトン周期では19太陽年は235回の朔望月に一致する。メトンの発表後、この計算方法はギリシャ全土に広く浸透したらしい。その証拠が、かの有名なアンティキティラの機械である。現在、この遺物は相当解析も進んでおり様々なモデルが発表されているが、その盤上のダイヤル1周分がちょうど19太陽年だと言われている。アテネの考古学博物館では錆だらけの歯車の欠片を3つほど見ることができる。ただとてもではないが一見して太陽年を表しているとは推察し難い状態だ。もちろんメトンのヘリオトロープも、ぱっと見では日時計だと想像するのも難しい。それでも2500年前の天文学者が見出した宇宙の法則の一端を現代の天文学者(あるいは考古学者)が復元し続けているというのは何とも心浮き立つ世界ではなからうか。2500年前から夏至を告げ続けてくれているアポロン(あるいはヘリオス)神に感謝である。

🌸 大地の中心

というわけで、次に向かうはそんなアポロン神の総本山、デルポイ(デルフィ)だ。古代ギリシャ最高の神託所はアテネから車で2時間半の距離にある。かつて世界はパルナッソス山の麓に拓けるかの地を中心に回っていた。なぜならばゼウスが鷲占いで決めたから。世界の両端から2羽の鷲を放ち、ちょうど鷲が出会ったのがこの土地だったのだという。証拠として今でも神託所の中には「オンパロス(大地のへそ)」と呼ばれる円錐型の岩が残されている。(※本物は博物館で展示。現地に置いてあるのはレプリカです。)

人々はデルポイの神託を求め莫大な捧げ物を手にこの地を訪れたと言われ、今でも神殿に続く両脇には各ポリスがこぞって建てた巨大な宝物殿が林立している。かなり修復も施されているため、実際に目の前に立つとなかなか圧巻の光景だ。しかも復元模型によると実際はとてつもない量では済まないようで、山へと続く斜面一面に宝物庫が立ち並んでいたらしい。一体どれほどの信仰が集まっていたのか嫌でも推し量れようというものである。



手前の黒い石がオンパロス。奥の石積みが修復された宝物庫。

信託所のすぐ近くにはそんな参詣者たち、あるいは巫女が身を清めたとされる湧水地の痕も残されている。「カスターアの泉」と呼ばれるそこは今でこそ泉としての機能は失われているものの、同じパルナッソス山から自然と流れ落ちる豊富な湧水が今なお現役だ。しっかりとしたガイドが付いているツアー参加者の場合この湧水地も案内してもらえるようで、欧米系の観光客は手に手に汲み取っては喉を湿し肌を潤している。



私も曲がりなりにも神社における御手水文化のある国から来た人間だ。身を清めずしてアポロン神に詣でるわけにはいきまい。と、手持ちのペットボトルに並々と注ぐ。山から湧き出たばかりの

天然水を。初日にレストランの水にまで警戒していた人間が、である。嫌な予感しかしないというのはアポロン神ならずとも予測の範疇というものだろう。(※アポロン神は疫病の神でもあります。)

案の定、ばりばりの硬水だった。ちなみに私はたった一口の硬水でも一瞬にして体調を崩す、吸水力抜群の内臓の持ち主である。残念ながら並々と注いだ清めの水は、たった一口を除いてあえなくパルナッソスの大地に還ることとなった。デルポイのピュティア(巫女)はこの地で生まれた者でなくてはならぬとされていたというが、その理由の一つはこの超硬水に耐え得る肉体を有していることだったのかもしれない。

そしてもう一つ、条件があるとすれば健脚。彼女らは神殿の中を住まいとしていたとはいうものの、この聖地は実に広大なのだ。よく広大な土地のことを「見渡す限り」と表現するが、まずもって見渡せない。山の斜面に張り付いているような構造なので、どこに向かうにもアップダウンが付きまとうのだ。宝物殿の立ち並ぶ斜面を登りきり、ようやく辿り着いた先に神殿、その向こうの斜面には円形劇場、一つ起伏を回り込んでスタディオ(競技場)やギムナシオン(練習場)といった具合である。競技参加者はともかく、観客も全員この山を登り切らなければ観戦ができないという酷な仕様だ。しかも炎天下。どこかの国の現代五輪が酷暑でさんざん批判を受けていたようだが、古の競技場が強い過酷さはその比ではない。



それでも人々はこぞってこの競技場へと足を運んだ。なぜなら、かつてこの地ではオリンピックに勝るとも劣らない大祭「ピュティア競技祭」が

行われていたためだ。

古代ピュティア競技祭はアポロンがピュトンに勝った様子を再現するところから始まったという。ピュトンはガイアの子で蛇の姿をした怪物である。デルポイの神託所を覆うほどの巨体で口からは毒ガスを吐く。アポロンはこれを討ち取りオンパロスの下へと封印したとされ、後にピュティアからはそこから吹き出るガスでトランス状態となり神託を受けたというのが通説だ。実際この地には断層があることが判明しており^{*2}、ガスが吹き出していた可能性もゼロではないというから面白い。デルポイのギムナシオンといえばオデュッセウス王が立ち寄ったスポットとしても有名だが、もしかすると本当にあの智謀の将がここで猪と戦ったという事実さえあったのかもしれないと、つい想像したくもなる。



デルポイの競技場。控え室や浴場の跡も残っている。

アポロン讃歌

さて、そんなピュティアの競技祭はもともと音楽の祭儀であった。アポロン神は音楽や芸術分野の神でもあるためだ。そんなアポロン神の加護を受けてか、この土地には「世界最古の楽譜」が現存する。楽譜といってももちろん五線譜ではない。一見すると古代ギリシャ文字が刻まれているだけのただの巨石だ。しかしよくよく見れば文字の上には音の高低を示す記号が描かれている。指示に従って歌えば何となく音曲を再現することができるという詩吟の楽譜のような代物である。今回、デルフィを最終目的地とした一番の理由はこの最古の楽譜「アポロン讃歌」だった。というのも同行者である母が音楽を生業としているためだ。前述の通り私には数々の興奮ポイントがある

ギリシャだが文系畑である彼女にとっては必ずしもそうではない。そこで、せっかくならば世界最古の楽譜を見に行こう！と相成ったわけである。

古代ギリシャ語の場合、母音が書かれていることにより韻律もかなり正確にたどることができる。私は趣味でエジプト神聖文字も読む人間だがヒエログリフの場合は基本的に母音を書かない。現在研究者が読んでいる音は一定のルールに則ってこそいるものの基本的に勘でつけられた後付けの音だったりする。(※rの音が書いてあったとしても、それがraなのかroなのかわからない。ので、便宜上raと読んでおきましょう、といった決め事がある。)その点ギリシャ語は音の再現がかなり正確に可能なのだ。ロゼッタストーンを解読したときのシャンポリオンの興奮や如何ばかり。おかげさまでヒエログリフの正確な音までいくつか解読できたのだから、母音を重んじたという古代ギリシャ人には頭が上がらない。ただ、そもそも読めなければ結局文字の書かれた岩でしかないように母の感想は「…大きな石！」だったのだが。音楽の神アポロンの不興を買わないか心配である。



太陽のマークのような高低の記号があちこちに書かれています。

ちなみに、このアポロン讃歌の岩はもともと神殿の宝物殿の壁面だった。現在はデルフィの考古学博物館の中に収められおり、神域からほど近い施設で見ることができる。館内にはデルポイに捧げられた宝物が山のように收藏されており、デルポイ信仰の広さをあらためて知ることができる場所となっている。

最も有名なのは青銅の御者像だろうか。彼は紀元前470年頃のピュティア大祭でシチリアの僭主が戦車競争の優勝記念に奉納したもので、19世紀

末に発掘されて後、現代まで完璧な姿を保ち続けていることで知られるデルポイ繁栄の「生き証人」だ。

隣室には同時代にアッティカの工房で作られたキュリクスも並ぶ。ヒマトンを纏うアポロン神の姿はもちろん、からす座でお馴染みのカラスの姿も鮮明に確認できる美しい品である。



さらに隣にはナクソス人が奉納した有翼のフイックス像。その横にはアテナイの奉納品である三面に少女が刻まれた巨大なイオニア式の柱が並ぶ。時代も産地も多種多様な発掘品は、地中海沿岸の都市がこぞって求めたという神殿の威徳をその来歴と精緻なる造形をもって現代へと知らしめる声なき語り部だ。ヘロドトスによると、デルポイが焼失した際にはエジプトのファラオまでもが多額の寄付を行なったらしい*3。



神託所の向かいに残るアテナ・プロナイアの神域。神託所の参詣者はまずここを訪れ彼方の神託所を仰ぎ見た。

🌸 終章：テーセウスの船

斯様にデルポイの神託所は永きに渡ってギリシヤをはじめ世界中の国々・ポリスに強い影響を与えてきたのだが、やがてこの地にも終焉が訪れた。ポリス国家の衰退とともに人々の信仰が支配

され他へと移り、神はギリシヤの地を去らざるを得なかったのである。

それでもこの地に今なお神殿は残り、人々は畏敬の念を持って古の遺産へと向き合っている。かつての神事の際は観光産業という形でギリシヤを潤し、この国に生きる人々の糧となった。それは往昔の信仰と同じ形の恩寵ではないかもしれない。それでも未だこの土地にギリシヤ神話の神々の恩恵があることは疑いようもない。

翻って我が身を思う。かつてギリシヤに憧れ星空を愛しプラネタリウムに魅せられた少女は今、どこに立っているのだろう。

哲学者プルタルコスは問うた。「テーセウスの船が朽ちた後、材木を張り替えた船は、果たしてテーセウスの船と言えるや否や。」

この命題の一つの答えがギリシヤという国にあると思う。古の文化は失われ民族は入れ替わり信仰する神さえ変わってしまった。それでも彼らは古き時代の神話の残滓の上に生きている。

私もまたこれから先、生き方を問われることも多いだろう。活計の道を迷う日が来るかもしれない。再び旅に出ることがままならない日々が訪れるかもしれない。それでも神話を、星空を見上げる習慣だけは普遍的なものだ。どれだけ生きる世界が変わっても、私は星を繋いで英雄の姿を描き、神々のいた世界を、その物語を想うのだ。これまでずっとそうだったように、きっと、間違いなく、これからも。

*1：BC432に発見、BC433に発表。

*2：John R Hale (Sep. 2003). *Questioning the Delphic Oracle*. Scientific American.

*3：R M Cook (1937). *Amasis and the Greeks in Egypt*. The Journal of Hellenic Studies.



プラネタリウム聖地巡礼の旅

齊藤美和

●憧れの地はイエナ

いつか入ってみたい場所、それがドイツのイエナ(Jena)でした。ドイツの中央より少し東、チューリンゲン州にある小さな街です。そこは、近代的なプラネタリウムが発明された世界中のプラネタリウムファンにとって「聖地」ともいべき場所です。

私を天文の世界に導き、旭川との縁をつくったのはプラネタリウムです。しかも、プラネタリウムを発明したカール・ツァイス製のアナログ(機械式)プラネタリウム。ツァイスレンズの優秀さを知った私は、カメラ用にツァイスレンズを揃えるようになり、今ではメガネのレンズにもツァイスのマークが光っています。

そんなツァイスのプラネタリウム工場があるのがイエナという街に、身近な幾人かが行ったことがあるとわかってから、いつか私も行かなくてはと思うようになりました。イエナへ行ったことのある家族が街のようすを教えてくれ、そのときに使った街の道路地図を私に与えてくれました。私は、ドイツ語で書かれた、少ししか読めないその地図を眺めて過ごしていました。

2016年、ついにチャンスがやってきました。6月にポーランドで行われるIPS(国際プラネタリウム協会)の、2年ごとに行われる国際カンファレンスの帰りに、イエナのツァイスの工場へいけることになったのです。

プラネタリウムのカンファレンスの日程と、ポーランドの天文学者コペルニクスゆかりの地を巡るポストカンファレンスツアーを予定通り終え、ツアーの最終地グダニスクで一泊し、ドイツへの長い列車の旅が始まりました。

朝7時32分にグダニスク中央駅発のベルリン行きIC(国際列車)は、国境近くのドイツの街フランクフルトを経由して、ベルリンへ到着しました。ベルリンは和食が人気の町です。駅のシバーで遅い昼食をとり、ライプツィヒを経由して、夕方17時9分ようやくイエナに到着しました。



聖地への切符 DB(ドイツ国鉄)の乗車券

駅の名前はイエナ・パラディース(Jena Paradies)、私にとってまさに楽園、天国です。この駅の名前は、隣接する大きな公園の名前に由来しているそうです。

ホテルまではトラム(路面電車)を使うと便利と旅行ガイドブックにはありますが、線路の大規模改修工事が行われていて、ほとんどの路線は運



標識の名を見てついにイエナに來たと実感

休となっていました。仕方なくスーツケースを引きずりながら15分ほど歩くことにしました。でも、そのおかげで、街の標識に「Carl-Zeiss」や「Ernst-Abbe」などの名を見ることができました。ベトナム料理屋でフォーをすすむうちに、イエナで迎える最初の夜は更けていきました。

●ショッピング・モールにプラネタリウム

イエナは、9世紀から続く大学の町です。有名なフリードリヒ・シラー大学は、16世紀の設立だそうです。でも、イエナを一躍有名にしたのは、清透な水を利用した、ガラス及びレンズ産業です。ガラスメーカーのショット社、精密レンズのカール・ツァイスは世界的に有名です。人口は11万人と、小さな田舎の都市と言った感じですが、東独特有のスクエアな建物が、レンガ造りの旧都の中に点在しています。



モールに展示されているコスモラマ

市中心のショッピングモールの通路の真ん中には、プラネタリウムの実機が静態展示されています。1985年から約10年間イエナのツァイスプラネタリウムで稼働していたコスモラマです。光学

と精密機械の技術の結晶は、きっと町の自慢なのでしょう。町がプラネタリウムを誇りにしていることがうかがえます。このモールがある建物は、かつてツァイスの工場でした。

●ツァイスプラネタリウムの工場へ

午後はツァイス社のプラネタリウム工場を訪ねました。旧知の Ann Lakey さん（旧姓 Wagner さん）や、エンジニアの Lutz Muller さん等が出迎えてくださいました。訪問の目的の詳細は他に譲りますが、大雑把に言うと工場検査の類です。Ann さんは長身の女性です。それまでのIPSでも何度かお会いしたことがありました。彼女はセールス部門で世界中を飛び回っていますが、元は数学屋さんなのだそうです。

工場は、見るからにプラネタリウム工場といった感じで、大きなドームがそびえる3階建ての建物です。中は町工場さながらに雑然としていて、とても親しみが持てました。



Carl Zeiss Planetarium Division の工場

待合室では、私たちが日本人ということもあってか、緑茶でもてなしてくれました。ただし、甘い緑茶でした。このガラスにも、打ち合わせの後でいただいたコーヒーのソーサーにも Zeiss のロゴが入っています。このようなところにも徹底したこだわりの社風みたいなものが感じられます。ここも私がツァイスファンになった理由の1つです。

工場滞在は約半日で終え、ホテルで一休みしたあと、街の古い小さなレストランで、アメリカのセントルイスにあるマクダネルプラネタリウムの

元館長の John Lakey さん、Ann さん、日本から同行した三好さん等とのディナーを楽しみました。マクダネルプラネタリウムへは翌 2017 年、日食を見に訪米した際に立ち寄り、ユニバーサリウム (Zeiss IX 型) を寝転がって観るという贅沢を味わいました。

真夏とは言え、石畳の町は夕方になると少しひんやりとします。ワインで気分が高揚した私は、この街並みをどこまでも歩いて行きたい衝動に駆られながらもホテルへ戻りました。時刻は 10 時だけどまだほの明るい空が、帰りたくない気分に拍車をかけます。

●世界最古のプラネタリウム館

イエナには、必ず行かなければならないところがいくつかあります。その 1 つが世界最古のプラネタリウム館 (1926 年竣工) です。今は、Zeiss IX が入っています。

前庭のベンチにエルンスト・アッペ (Ernst Abbe 1840-1905) さんの銅像があります。レンズ設計で



Zeiss Planetarium Jena (1926 年竣工) の正面



Abbe 大先生との記念写真

用いられるアッペ数にその名を残す、レンズ設計の神様のような方です。もちろん一緒に記念撮影ができます。



パウワースフェルトの名のレストラン

また、イエナの中心部には Ernst Abbe Strasse (エルンストアッペ通り) があり、カールツァイス広場と交差する辺りに、アッペの廟があります。中にはアッペの胸像、手の模型、デスマスクなどがあります。

イエナのカールツァイスプラネタリウムに隣接するレストランの名前は何と、「パウワースフェルトレストラン」です。パウワースフェルトとは、プラネタリウムの父ともいふべき、近代的なプラネタリウムを発明した技術者の名前です。彼なくしてプラネタリウムは存在しなかったでしょう。もちろん、ここで昼食を摂らないわけにはいきません。

食事を楽しんだあと、プラネタリウムを見ました。そのうちの一つは、幼い子供向けのプログラムでした。「今夜の星空」の後に宇宙旅行です。ドームが宇宙ロケットのように夜空に高く飛んでい



イエナのツァイスプラネタリウムにあるユニバーサリウム

く演出がありました。発射シーンは驚くほどの大音響と共に、スモークマシンからの白い煙がドーム内に充満し、あっという間にドーム外へ吸い出されていきました。ここまでやるかという演出が楽しくてたまりません。

写真を撮りまくり、プラネタリウムを堪能し、売店でプラネタリウム関係の書籍やグッズを買いました。こうして私の人生最良の日の時間はあっという間に流れていきました。



売店で買った自分へのおみやげの数々

●お宝いっぱい光学博物館

イエナでもうひとつ逃がせないのは、光学博物館(Optisches Museum)です。カール・ツァイスやエルンスト・アッペゆかりの品々や、ツァイスレンズに関わるあらゆる製品…… 眩く輝く真鍮製の光学機器、測定機器、天体望遠鏡、様々な顕微鏡が所狭しと並べられています。そのひとつひとつが歴史を切り拓いた名品なのでしょう。

特に、私にとって圧巻だったのは、2階の多くを占めるプラネタリウムに関する展示です。ツァイスだけではなく、アメリカのスピッツ社やスカイキャン社の補助投影機などが、これまた密度高く並べられていて圧倒的です。

そこには、これらの機器が映し出した月や惑星の動き、太陽系やオーロラや流星の残像とともに、それを見た子供たちの歓声がしみ込んでいるように感じられます。

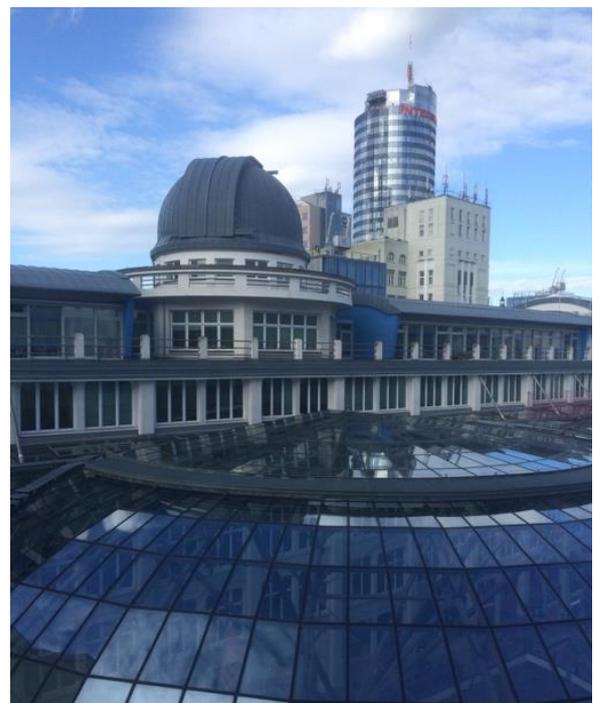
カリフォルニアにある、プラネタリウムプロジェクト博物館と並んで、どのような手を使っても絶対行かねばならないところです。それだけ

の価値はあります。

しかし、イエナの光学博物館は今はクローズしています。2027年に再開の予定です。



今は休館中の光学博物館の建物



ホテルからイエンタワー方向を見たところ



すぐ下にツァイスの工場や試写ドームがあった

●プラネタリウム誕生の聖地

イエナの街が一望できる名所、イエンタワー（JenTower）にも上りました。およそ130mの高さにある展望台から、青い空の下、ザーレ川と木々の緑に囲まれた、美しい街を眺めました。

自然豊かなツァイスの工場の他、ツァイスのレンズを支える高品質なガラスで有名なショット社の工場が点在しています。

すぐ下には、かつてのツァイスの工場を象徴するような天文ドーム、その隣には私たちが泊まっているホテルがあります。

2023年、プラネタリウムが発明されて100年を迎えました。ドイツ博物館へ納める世界初のプラネタリウム、ツァイス1型を作った工場と、工場屋上に作った試写ドームがあった場所はどこなのか、とても気になるところです。これは訪問当時は分からず、後から知ったことですが、その生誕の地がまさにこのホテルやショッピングモールなどのある場所でした。私たちはプラネタリウム生誕の地に宿泊していたのでした。

遠くに現在のツァイスの工場の看板、ショットの工場の看板が見えます。この写真にも写っています。元の写真を拡大していくと見えます。

そのショットの看板のある建物は、もうなくな

ってしまいました。ツァイスの新しい施設になるそうです。現在、建設中です。

実質1.5日ではまだまだ見逃したところもありそうです。そろそろ、ライプツィヒ行きの列車の出発時刻が迫ってきました。街中のトラムはまだ動いていません。徒歩でたどり着いたパラダイス駅で待つこと10分、イエナの街に別れを告げ、私は車上の人となりました。

●聖地訪問はまだ続く ……

2024年の夏、ベルリンでIPSが行われることになりました。それに合わせて、直前にイエナではドームフェスタが行われます。再び、憧れの地イエナへ行くことができます。もうトラムは復活しています。

今度は、もう一つの聖地とも言えるオーバーコッヘンにも行ってみたいものです。西ドイツ時代はここから多くのプラネタリウムが作られました。光学博物館もあります。

また、地図を見て憧れています。インターネットの地図だと、街の詳細や写真も見られて、より楽しいです。気になっているのは、オーバーコッヘンに、イエナ通りやバウアースフェルト通りがあることです。ぜひ、近いうちに行きたいです。

オーストラリア星空リベンジ

～めざせエアーズロック～

加藤 雅彦



オーストラリアは1986年にハレー彗星の観測のため出かけました。初めての海外でもあり、期待と不安、それに新学期が始まったばかりで職場への遠慮(?)なども感じながらの遠征でした。その折はあこがれのエアーズロックへは行くことができず、悔しい思いをしました。今回はエアーズロックを背景に秘境(単体)写真を撮りつつ、シドニー観光をしてきました。当然いつものドタバタ付きですが……。

今回は家内が少々足の具合が悪く、車椅子を持参しての旅です。車椅子を押しながらの移動にトランクは不向きですので、自分の荷物は登山用のリュックを背負い、家内のは車椅子のハンドルに引っかける状態で出発です。全般を通じて日本もオーストラリアもマイノリティーに対しては非常に寛容で親切でした。飛行機のチェックイン・出国・入国とも通常の列に並ぶこともなくVIP扱いで、通過させていただきました。本当にありがたいことです。またシドニーでは、移動に

バス・地下鉄を利用しましたが、これらも車椅子の使用には工夫をされていますし、係の方も慣れていてスマートに対応していただきました。

今回は2019年1月9日から16日までの8日間の星見の旅です。成田を夕方に発ち、9時間の長旅。翌朝、シドニーに到着したあと国内線に乗り換え、エアーズロックまでさらに3時間半のフライトです。

アメリカの入国同様、ビザを必要としない代わりに事前認証であるETASの申請をしなければなりません。オーストラリア大使館のHPからでも申請できますが、代行業者を通すと非常に安く済みます。このからくりはよく分かりませんが、無事、入国はできました。

時差がほとんど無いため時差ぼけの症状はないのですが、マイナス20℃近い気温で旭川を発ち、エアーズロック空港に降り立つとプラス36℃もあります。温度格差は60度近くにもなり、身体がついて行きません。あちこちに水分を十分に摂るよう、注意書きがありました。

レンタカーを借り、ホテルにチェックイン後、あこがれのエアーズロックに向かいます。国立公園内にありますので、ゲートで入場料を支払います。3日間有効で25ドル。高いような安いような金額ですが……。しかし、夜9時以降、公園内に留まることができないとのこと。そんなことガイドブックには記載されていませんでした。エアーズロックを背景に天体写真を撮るつもりで来たのがっかりです。



エアーズロックは酸化鉄を含む砂岩のようで、近くから見てもその偉容さは格別です。周回する道路もあり、とりあえず一回り。「後ろエアーズロック」は始めて見ました。ビューポイントに戻り、夕方を待ちます。もともと赤いのですが、夕日に照らされ、さらに赤くなるエアーズロックをカメラに納めるべく、セットしました。赤銅色のエアーズロックと紺色の空にカノープス・シリウス・プロキオンを写し込むことができ、満足！満足！！

翌日、午前中はホテル周辺のショップなどを眺めて、午後から撮影機材を積み込んで再度エアーズロックへ向かいます。9時ぎりぎりまで星座も写し込んだエアーズロックを撮影し、公園外へ。ゲートのすぐそばに陣取ります。

ここからは遙か遠くに見えますが、エアーズロックを写し込むには厳しい状況。とりあえず南天の星座撮影に取りかかります。一台は広角でタイムラプス撮影、もう一台はガイド撮影です。大小

マゼラン星雲・南十字・ηカリーナ等々楽しみながらの撮影です。夜になっても気温は20℃以上もあり、もしもの結露対策のカイロ・防寒用のライトダウンは重たいだけの不要物になりました。このとき撮った南十字座は科学館のプラネパンプに使っていただきました。

翌日は家内の体調が思わしくなく、レストランで夕食の後、ベランダからタイムラプスで北方向の撮影をしました。南半球ですのでイメージ的に

は西から東へ星が動く感じですし、北にはオリオン座が逆さまに鎮座しています。

シドニー空港からホテルへ。家内の調子がさらに悪いため、日本語で受診できる病院を検索し、翌日の予約を取りました。日本の病院と違い完全予約制で診察も非常に丁寧ですが費用も高額です。

しかし、すべて保険で賄うことができましたので良しとします。風邪との診断で薬をいただき、ひとまず安心。症状も落ち着いたので午後からパディントンマーケットへ。バスで向かいますが、降りる際のバス停のアナウンスは無しです。降りたい人は目的のバス停が近くなったら、チャイムのボタンを押すようになっています。

不案内な外国人には優しくないシステムです。Google Mapでルート上の位置を確認しながら、バスを降りました。バス停のそばの骨董屋でMARVELの古雑誌を見つけゲット。娘のお土産です。マーケットでは物色はしたもののこれという

ものではなく軽食を摂って終わりにしました。

シドニー湾の埠頭であるサーキュラーキーは観光の要所で周辺にはオペラハウス・ハーバーブリッジ・ロックスなどがあります。サーキュラーキーからほど遠くない港を見渡せる場所にシドニー天文台があります。天文台はロンドンのグリニッジ天文台同様、正確な時刻を伝えることも役目にひとつです。それ故、船からよく見える位置に立っており、13時には例の屋根の上の球体を上下させます。



古い観測機器を見学してから、是非、寄ってみたいかったパブに向かいます。NHKの旅番組で紹介されたパブで、ラムシャンク（羊の前足の煮込み）がおすすめとのこと。もちろんこの料理とビールを頼みましたが、月曜日はキッチンがしまっているとのこと。残念ながらビールを味わったのみでした。しかし、ウィークデーの昼間からそれなりの客があり、ビール飲んでいるのは日本ではほとんど見かけない光景です。勤勉(?)な日



本人には違和感がありますね。

帰りはロイヤル植物園経由でホテルに向かいます。植物園は、大変広く、道も複雑なので迷いながら出口へ向かいます。咲いている花は多いのですが、見かけるチョウは非常に少ないですね。ニュージーランドも少なかった！



サーキュラーキーからホテルまでは2 km程で、当然地下鉄が便利なのですが、歩いてもいける距離です。で、帰りは繁華街(?)を散策しながら、シドニータワーのレストランで夕食と思えば歩きました。大きな通りは新しく電車を走らせるように線路の敷設工事をしていました。予約をせず飛び込みでレストランに来たのですが、1時間半待ちということであきらめ、帰り道でパブを見つけ夕食を摂りました。結局これが大正解、美味しい・安い・雰囲気を楽しめるの三拍子がそろっていました。「パブメシ」恐るべし!!

シドニー動物園タロンガズーにはサーキュラーキーから船で向かいます。ガイドブックには2番ターミナルからと記されておりましたので、何の躊躇いもなく来た船に乗りました。ところがあらぬ方向へ向かい、結局、同じ船で2番ターミナルに戻りました。再度、大勢が乗るので行き先も確認せず乗り込むと今度も違う船でした。船員に確認したところ、4番ターミナルとのこと。3度目の正直でやっと動物園に向かいました。「ガイドブックのバカヤロー!!」 入場券はネット申込をするとなんか安くなります。メールで届いたバーコードでOKです。コアラはぬいぐるみのようでかわい

いのですが、木の上でお昼寝。何の愛想もないやつです。我が家のウサギ「おもち博士」の方がかわいい！！ 園内はアップダウンが多く一苦労ですが木々も多く歩くのが辛い設計です。



現時点ではエアーズロックに登山することもできるのですが、先住民のアボリジニの聖地（ウルル）であるため、今後規制される方向とのことです。ちなみに今回は気温が高いため登山禁止になっていました。早い時刻でないと無理のようです。エアーズロックは一枚岩で有名ですが褶曲した岩盤が30 km程離れた場所（カタジュタ）にも露出しており、「風の谷」と呼ばれる場所にあります。近づいてみると「風の谷のナウシカ」の「ウォーム」の形状にそっくりです。宮崎駿氏のコメントでは全く無関係とのことですが、ちょっと考えてしまいます……。

オペラハウスには朝からさわやかな天気ゆっ



くりと見学できました。外壁は近くで見ると長方形のタイルで光沢があり真珠のようでした。建築に当たってはいろいろ逸話がありますが、形状は比類のない美しさはです。

外のカフェでのティータイムも楽しめました。ここからもハーバーブリッジを眺めることができます。橋の上にアリンコのような黒い動く物が点々と見えます。なんと橋梁の上を歩くツアーとのこと。これには高所恐怖症の私は参加できない！！

ここでも最後のお楽しみはディナークルーズにしました。2階席がメインですが、車椅子で行っていることもあり、1階に席をとりました。2階は大勢の方々でざわめいていましたが、1階は貸し切りで静かに食事を楽しみました。ハーバーブリッジやシドニー湾も見納めです。

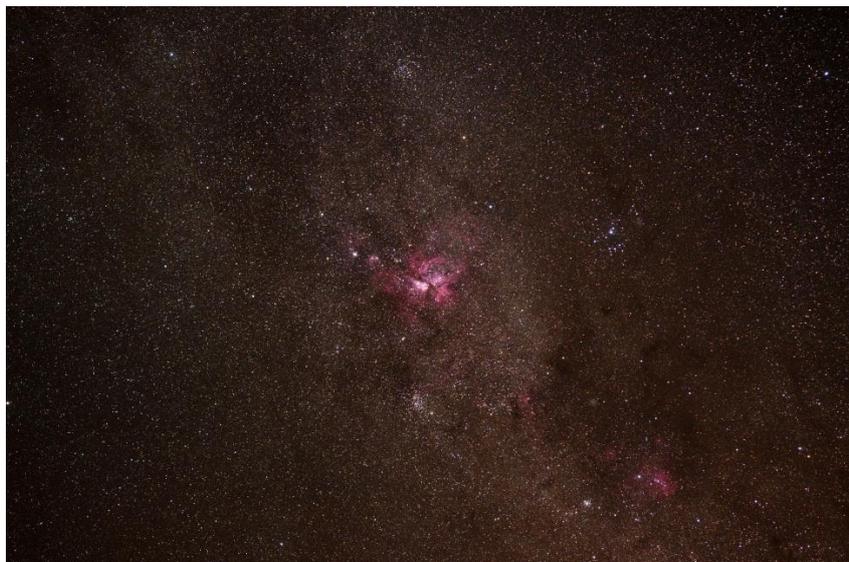


帰国後、体調が良くないのでかかりつけ医に受診したところ、インフルエンザとのこと。予防接種をしたのですが……。ドクターは「予防接種をしたので軽く済んでいます」とのことでした……?! ちょっと納得がいかない!! 仕事も数日間の病休です。

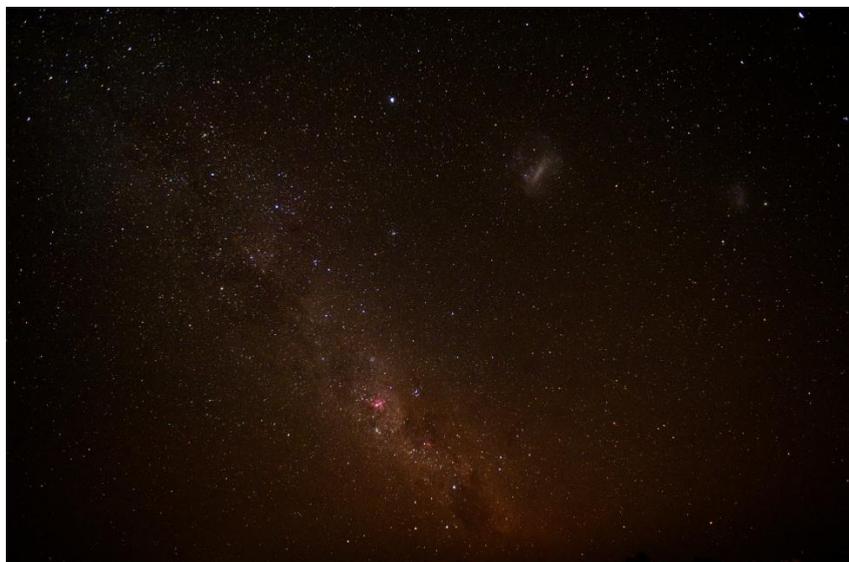
今回、体調不慮や気温差で厳しい状況でしたがエアーズロックでの天体写真撮影ができましたので、旅行の目的は達成です。現在は2024年のアメリカでの皆既日食へ向けて準備を始めているところです。日食は天候も含め一発勝負の要素が大きいので大変ですが、準備は怠りなく進めたいと思っています。



エアーズロックとカノープス・シリウス・プロキオン



エータカリーナ星雲



天の川銀河と大マゼラン・小マゼラン

ブラタモリ#118富良野・美瑛に出演しました

榎 納 智 裕



富良野平原開拓発祥の地での記念撮影

1 ブラタモリに出演しました！

2018年11月17日放送のNHK総合「ブラタモリ#118 富良野・美瑛」、ご覧になった方いらっしゃいますか？ 私は案内人として出演する機会をいただきました。以前からブラタモリの1ファンだった自分が番組に出演するなんて、思いもしない出来事でした。NHKのディレクターさん方と一緒に番組を作り上げる作業は労力を要する大変なものでしたが、初めて経験することばかりで充実感に満ちた楽しいものでした。

それでは「ブラタモリ#118 富良野・美瑛」はどのように作られたのかについて、私の視点で紹介したいと思います。

2 一本の電話から

2018年8月3日のこと、勤務先にNHKさんから一本の電話が来ました。「榎納さん、十勝岳の泥流にお詳しいと伺ったのですが？」 20年ほど前に情熱を注いだテーマだけに、嬉しさに身震いしたことを覚えています。

続けてNHKさんから「泥流から復興するため

に当時の人たちは泥流の上に客土をしたと聞いたのですが、その土はどこから持ってきたのかご存じですか？」との質問。土砂を採取した場所とその出典を知っていたので、即座にお答えしました。そして現地を案内するために翌日待ち合わせの約束をしました。

これがブラタモリ出演の契機ですが、この時は「ブラタモリ」とは明かされませんでした。

3 出演者選考

その後NHKのディレクターさんを現地に案内し、説明の基となる資料を渡したり、文献を紹介したりと連絡を取り合う日々が続きました。そして8月9日に「実はブラタモリです」と聞かされた時は、本当に飲み物を吹き出しました。

ディレクターさんから美瑛と富良野をテーマとした番組のリサーチを7月から行う中で「過酷な北海道開拓を乗り越えた当時の人達の情熱が、今日の繁栄に繋がったことを十勝岳泥流と上富良野の民による復興を通して伝えてゆきたい」との思いを告げられました。また8月20日に番組

構成と現地確認、そして出演者の選考がブラタモリの番組責任者により行われるのでプレゼンテーションの準備をお願いされました。

紹介したいネタは山ほどあったのですが、「樹木に残る泥流災害からの復興の痕跡」をテーマに決めました。現在の衛星写真と大正15年泥流災害の復興計画画面を対比(図-1)、当時の地形の多くが残されていることを示した上で、客土採取箇所“G”の上に再生した樹木と、客土採取による伐採を免れた在来樹木の違い(樹齢と樹種)とその理由を説明、「現地樹木を用いて泥流災害により生じた新たな地形変動を紹介できる」と言ったプレゼン資料を準備しました。



(図-1) 災害復興区域図(左)と現在の航空写真

ところが、プレゼン当日は泥流の地層が観察できる全く別の場所に連行され「この地層を説明して!」になりました。ぶっつけ本番説明の後、オーディションしながら番組責任者2名から矢のような質問が飛び出します。例えば、(NHK) 硫黄って基本無害だよな。なぜ農作物に害なの?

(榎納) 硫酸化物になったからです。

(NHK) 酸化のメカニズムは?

(榎納) 噴火による燃焼です。

と言った感じです。結局、私が案内したかった場所に行くことはありませんでした。

専門外の質問も多く、落選を覚悟しましたが、翌日に当選、しかも全体通しての案内人として番

組に出演して欲しい旨を告げられました。

後日知ったのですが、事前に提出したプレゼン資料をNHKさんが評価してくれたことが決め手だったようです。また番組撮影は9月4日~5日であることも知らされました。言うことは本番まで残された時間は2週間です。

4 番組シナリオ作成

ブラタモリは「案内先すら知らされていないタモリさんがブラブラと街を歩き、何気ない風景の中に色々な発見を楽しむ」番組かと思いますが、番組シナリオは存在します。案内人は、番組出演はもちろんのこと、シナリオの監修や提案も行います。基本的なシナリオはNHKさんが作成しますが、分かりやすさを優先するあまりに事実が歪むようなことがあることがあり、その場合は意見を出し合って修正したりします。

シナリオ作成で最も苦労したのは「富良野・美瑛開拓の過酷さをどのように際出させるか」でした。その為には北海道全体の開拓の順序を示そうということになりましたが、手持ちの資料では本番までに間に合いそうにありません。

気が焦り始めた頃、NHKさんが北海道科学館さんに協力を要請、快諾をいただき8月25日にお伺いしました。なんと3名の学芸員さんが作業を行ってくれました。その成果が番組でも放送された下の図(図-2)です。



(図-2) 北海道の開拓順序を示した図

こうして8月27日にシナリオが完成しましたが、その後、第三者の査読(恐らく東京大学地震研究所)が入ります。山のような指摘箇所の修正方針を返答し、了解を得て、8月29日に修正シナリオが完成したのでした。

5 リハーサルと撮影本番

5-1 リハーサル

9月1日、2日に全撮影箇所ですタッフ総勢23名による本番さながらのリハーサルを行いました。ブラタモリは、タモリさん・林田アナウンサーにはあえて番組シナリオを知らせません。

そこで、リハーサルは番組シナリオを知らない仮想タモリさん・仮想林田アナを相手に行います。私のセリフはディレクターさんがカンペを準備してくれるので説明は楽勝だろうと思いきや、仮想タモリさんの質問に冒頭からネタを明かしてしまったり、大事な場面でセリフを噛んでしまったりと散々な結果でした。

スタッフの皆さんもさぞかし不安だったと思います。本番前日は休暇をいただき、ひたすらセリフを猛特訓しました。

5-2. 撮影本番

今回のブラタモリの撮影は9月3日～4日午前で#119 旭川編を、9月4日午後～5日で#118 富良野・美瑛編を撮影する行程でした。撮影日が近づく中、富良野・美瑛撮影2日目の9月5日は台風21号が北海道に接近し大荒れになる予報が出てきました。もし撮影が出来ない場合は順延となり、代替りの日程は“タモリさんのスケジュール次第で分からない”とのことでした。

そんな中、撮影スタッフは1箇所目の美瑛町瑠辺薬で待機、僕も合流して #119 旭川の撮影を先に終えたタモリさんと林田アナウンサーを待ち受けるのでした。

5-2-1 美瑛町瑠辺薬

タモリさん方を乗せた車は予定通りの15:45に現地に着きました。車から降りたタモリさんの第一声は「なんだ～また美瑛かよ～」でした。どうやらタモリさんは撮影前日に北海道入りして美瑛町の友人宅に泊まっていたらしいです。タモリさんは噂通り行き先も番組シナリオも知られてないことを確信した瞬間でした。

美瑛町瑠辺薬で紹介するポイントは、

①美瑛・富良野の開拓は海から遠く、到達するだ

けでも大変で、明治後期から大正初期まで開拓出来なかった

②美瑛の丘は、十勝岳連峰の形成以前に上士幌町十勝三股周辺から噴出した国内最大級の火砕流噴火により形成された

③美瑛の丘のパッチワーク状の美観は、開拓当時に地形を無視して東西南北で土地を分割したことにより生まれた

の3点です。シーン③は、地元郷土研究家の菅野さんが担当し、①と②は私が担当します。

NHKディレクターさんからタモリさんに行程の説明が行われ、直後に「はいスタート！」の掛け声を合図にいきなり撮影が始まりました。撮影前にタモリさんにご挨拶くらいするものだと思っていたので、心の準備をする間もありません。

意を決して説明を始めたのですが、撮影はシナリオを知らないタモリさんの興味のままに進むので、どんどん脱線して多くがアドリブになってしまいます。これには焦りました。林田アナはタモリさんの発言を甲斐甲斐しくフォローする感じでした。

そして、②の美瑛の丘が火砕流噴火で形成されたことを説明するシーンで地層(図-3)を紹介した時、タモリさんの目つきが変わりました。



(図-3) タモリさんが観察した火砕流露頭

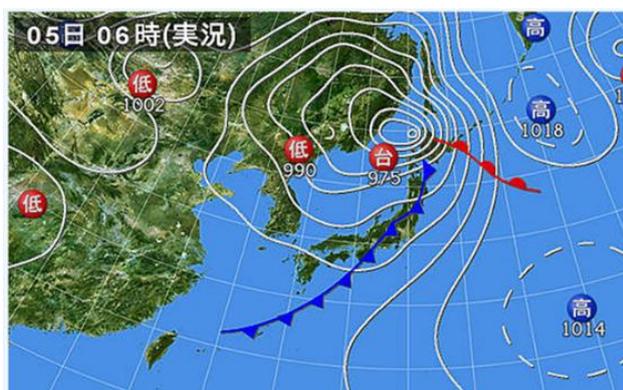
まず遠くから地層を3分くらい無言で観察、近づいて土を手に取りご自分のルーペで観察すると「斜長石と石英、そして軽石を含んでるねえ。これは火砕流でしょ！」一発で正解を出されてしまい驚きました！

番組では映ることのないタモリさんの地層観察は専門家と同じ手法で、本当にお詳しいことを

このシーンで思い知りました。その後も北海道ならではの周氷河作用により、波打つような丘の表面が出来たことなど丘の形成過程の話で盛り上がったのですが、このシーンは残念なことに放送では全てカットされてしまいました。こうして9月4日の撮影は終了しました。

ちなみに僕にカンペを見せるため動いたディレクターさんが側溝に足を取られて転んだシーンはヤラセ無しのガチです。

5-2-2 富良野平原開拓発祥の地



(図-4) 9月5日6時の天気図

このシーンからは9月5日の撮影になります。2箇所目は上富良野町の富良野平原開拓発祥の地記念碑周辺ですが、気になるのは台風の動きです。台風は予報通り北海道に接近したのですが(図-4)、風は強いものの概ね晴天の好天候！マイクが風を拾うのを低減する目的で撮影は30分遅れとなりましたが、9:10にスタートすることが出来ました。

- 富良野平原開拓発祥の地での紹介ポイントは、
- ①上富良野町も美瑛同様に明治30年代まで開拓が困難な場所だった
 - ②そんな中、鉄道が出来たことを契機に入植と開拓が始まった。
 - ③その後、開拓が進んだが、30年後に十勝岳噴火による大悲劇が発生

の3点です。美瑛の開拓が大変だったことが印象に残っていたタモリさん、ヒグマの話振ってきました。私のヒグマ遭遇体験を紹介したところ大変喜んでくれました。それ以降、タモリさんがフレンド

リーに接してくれるようになり、撮影も和やかで楽しい雰囲気になっていきました。撮影後に記念撮影をしていただきました(見出し写真)。

5-2-3 上富良野町泥流堆積跡地

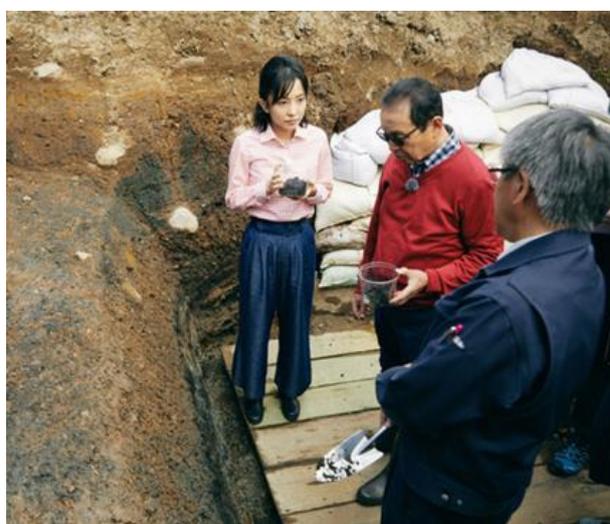
3箇所目は上富良野町草分の十勝岳噴火で発生した泥流の地層を観察出来る場所で9:30にスタートしました。ここでの紹介ポイントは

- ①地層から開拓直後の大悲劇と、その後の復興の過程を読み取ることが出来る
- ②大悲劇とは十勝岳噴火に伴う融雪により発生した泥流で、開拓間もない当時上富良野村に壊滅的な被害を与えた
- ③農作物に有害な硫黄を含む泥流土砂により農業は困難を極めたが、被災を免れた丘の土砂を人力により掘削・運搬し泥流の上に客土することで耕作を再開、被災から8年後に元の収穫量を回復した

の3点です。144名の死者行方不明者を伴う大正15年十勝岳泥流は明治以降国内最大の火山災害です。もしタモリさんが十勝岳泥流を既に知っていたら説明するネタが無くなるのが心配でしたが、幸いにもご存じなく、安堵しました。

地層を解説しながらタモリさんに問題を出すのですが(図-5)、地質学的手法で僅か90年ほど前という新しい地層の解読は難しく、さすがのタモリさんも「分からない」を連発しました。

興味が冷めたらマズイと少し焦りましたが、被



(図-5) 泥流堆積物の地層の説明

災時の写真などを用いて、泥流被害の甚大さや壮絶だった復興をお伝えすることが出来、私の最大の見せ場を無事終えることが出来ました。

また、地元NPO法人の井上さんによる三浦綾子著「泥流地帯」を紹介する紙芝居の熱演や、泥流体験者子孫の佐川さん・田村さんによる上富良野を捨てられなかった開拓者の心境の話は、タモリさん・林田アナの心を打つ素晴らしいものでした。

5-2-4 ファーム富田

4箇所目はラベンダーなどの花畑を楽しむ富良野を代表する観光地、中富良野町のファーム富田にまつわる話で、10:50にスタートしました。ここでの紹介ポイントは

- ①香料として生産したラベンダーが格安な輸入品に押され廃業を覚悟したとき、旧国鉄カレンダーでラベンダー畑の景観が紹介されたことを契機に観光農場として生まれ変わった
- ②「秋の彩の丘」は元は水田だった場所に盛土して作った丘で、その盛土は河川工事で発生した泥流の土を使ったもの の2点です。

説明するファーム富田の富田社長は、地元の有名人で、さすがに撮影慣れしており軽快なしゃべりで楽しませてくれます。ラベンダー全盛期が過ぎていることに、林田アナが珍しく感情をあらわに悔しがっていました。

撮影中のタモリさんを見つけた観光客の人ばかりで撮影が成り立つのか心配でしたが、客の多くは中国からなどの外国人だったのでしょう。タモリさんに近付いたり声をかけたりする人は少なく、スムーズに撮影を行うことが出来ました。

途中で雨による撮影の中断もありましたが、短い時間で上がったので、大きな影響はありませんでした。丘の盛土が硫黄混じりの泥流の土だと知ったときのタモリさん・林田アナの驚き様はすごかったです。

河川工事の残土受け入れで協力してくれた富田社長に20年越しで恩を返せた瞬間でした。

その後、私からこのとき行った河川工事の概要や十勝岳の噴火履歴の説明を行い、タモリさんも興味深く聞いてくれたのですが、このシーンも放



(図-6) ファーム富田での記念撮影

送では全てカットされてしまいました。

撮影後の記念撮影が上図(図-6)です。

5-2-5 青い池

5箇所目は最後の撮影地、美瑛町白金の観光名所、青い池にまつわる話で、14:10にスタートしました。ここでの紹介ポイントは

- ①今や多くの人を訪れる青い池は5年ほど前から有名になった新しい観光地で、地元写真家が撮影した池の写真がMacintosh製PCの壁紙に採用されたことを契機に有名になった
- ②青い池は十勝岳泥流対策の為に造られた砂防ダムの脇に川の水が流れ込んだことにより偶然出来たもので、なぜ濃い青色に見えるのかはよく分かっていない の2点です。

この観光客はファーム富田よりも日本人が多く、撮影中に人ばかりが出来かけましたが、撮影スタッフさん方の積極的に話しかけて気をそらす等の対応で、スムーズに撮影が進みました。

台風降雨による増水で池の中に川の濁流が流れ込み、池本来の青い色を見せることが出来ず、説明する北海道開発局の吉川さんは大変でした。

青い池が砂防ダムの一部であることを知ったタモリさんは大興奮で、ダムの設計にまで話が及びました。設計水深・流体力・砂防ダムの形式・構造などの質問を連発するタモリさんの博識ぶりには改めて驚かされました。

私からは設計の考え方と併せて、現地の林分特

性を交えて泥流がいかにも大きな規模だったのかをタモリさんに説明したのですが、このシーンも放送では全てカットされてしまいました。

代わりに中腰で「残り物には～」と番組の合い言葉を確認するシーンが採用となり、技術屋らしい私の一面は、あまり放送されることはありませんでした。ただ、私の中腰でセリフを言うスタイルを気に入ってくれたようで、撮影終了後、マネをしていただきました(図-7)。



(図-7) 撮影終了後の中腰のタモリさん

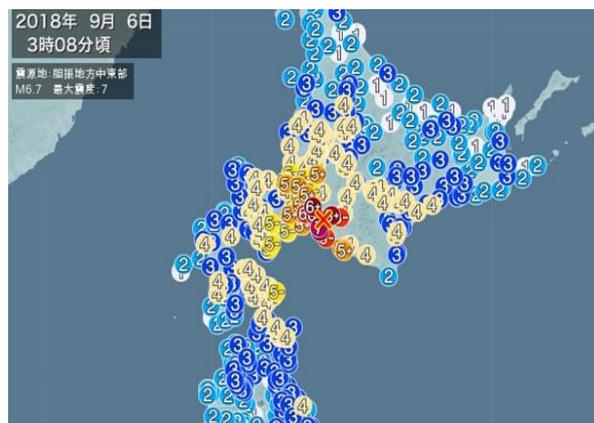
6 撮影終了後

こうして撮影は 14:50 に無事終了し、16:25 発 JAL 556 便に搭乗するため、旭川空港に向かうタモリさん・林田アナ方を乗せた車をお見送りしてロケは完了しました。見送り直後にディレクターさんは万歳三唱していましたが、私自身は「終わっちゃったなあ」の喪失感の方が大きかったです。

帰りの車の中では、撮影を終えたスタッフの方々が私に気を遣って色々と話しかけてくれました。ここでは書けない局アナやタレント・放送作家の悪口などを聞かせてくれたり、年に一度の北海道ロケは非常に人気が高く、誰が担当するかでよく揉めるなどなど、ブラタモリのスタッフはエンターテインメント部門の精鋭部隊のようで「次は紅白かあ～」とのボヤキも聞こえてきました。最後に記念品をいただき、解散しました。

なんとも言えない充実感に満たされた中で特別な1日が終わり就寝中の3:08頃のこと、旭川で震度4の揺れに目を覚ましました。何とこれが

胆振地方中東部を震源とした最大震度7の胆振東部地震だったのです(図-8)。程なくして停電が始まり、北海道はブラックアウトになるのです。



(図-8) 9月6日発生胆振東部地震の震度分布

タモリさん・林田アナを始め、撮影スタッフの多くは既に帰京された後で無事でしたが、撮影終了後の挨拶回りをしたディレクターさんは、ブラックアウトの中、さぞかし大変だったことと思います。

聞くとところによると、平成28年熊本地震もブラタモリ#35 熊本撮影直後に発生、海外ロケのブラタモリ#126 パリ編の放送後にノートルダム大聖堂が火災に遭うなど、ネットで言うところの“ブラタモリの呪い”は、あながち嘘ではない気がしております。

7 撮影後の編集作業など

撮影が終わると、次は番組制作の編集作業に移ります。その間もディレクターさんを通して資料や写真を交換するなどのやりとりが続きます。

そんな中、10月2日に“ナレーション原稿”と言う番組で放送される一字一句の言葉が記載された資料が送られてきました(図-9)。発言の内容を細かくチェックできるスグレモノです。

このとき私の専門的な出演シーンの多くがカットされていることに気付き、ディレクターさんに復活を申し入れてみたのですが、「この人お茶目で面白い！と編集担当が絶賛していて、榎納さんの良いところを凝縮してみたんですよ！」とのこと。完璧な褒め殺しに同意せざるを得ませんでした。

ブラタモリ#118「富良野・美瑛」 20180928 編集UP
 【放送予定】2018年11月△日(土)午後7:30~8:14:45【総合】
 【担当】中村由弥子 素材コード:2009-118

TC	映像	R	音声	
■1アバン				
0000			○タモ 今日在美瑛来ていますね。 ○タモ 旭川のちよい南というところ ですけども。 ○タモ 丘陵と言うんですかね、これ。 ○林田 うーん。 ○タモ 北海道らしき景色ですよ。 ○タモ すごい雄大なよな。全部農地ですよ、 これね。	
0022	■グーグル	7	Q1	タモリさんがいるのは、 北海道の中央部に位置する 富良野・美瑛
0030	□丘	12	Q2	その魅力は、なんといっても この景色！ 彩り豊かに、波打つような丘が、 どこまでも広がっているんです。
0043			○タモ 美瑛っていうのはアイヌ語で 丘の上っていう意味ですよ。 ○林田 あ、そうなんですか。 ○タモ 知りません。 ○林田 ははははは。あれっ、あれっ。 思いつき信じちゃいました。 ○タモ 嘘でもおもしろい方がいいんですよ。 ○林田 ははははは。ありそうですもんね、	

(図-9) ナレーション原稿

8 放送日 11月17日

放送前の10月27日から予告CMが何度も流れ期待の声をいただく中、放送日11月17日を迎えました。完成した番組を放送日前に見せてもらうことは出来ないで、ドキドキの心境でした。

編集のおかげで私の拙いしゃべりが、まるでスラスラと説明しているように聞こえるではありませんか！ 番組は私の想像を超える素晴らしいものでした。放送終了後はたくさんの方から賞賛などの電話やメッセージをいただき、大変感激しました。

9 印象に残ったこと

9-1 タモリさんについて

どんな人に対しても同じ態度で接する方で、威圧感など全く無く、私が何をやっても拾って面白くしてくれる方でした。

撮影中は当然面白いのですが、カメラが止まっ

てからの方が更に面白い方でした。雑談は下ネタが多く、女性スタッフが「ほうれい線は女の敵よ！」と言えば、「前立腺は男の敵だ！」と応じたりしていました。

撮影中一番喜んだのは、JR富良野線の列車が通過するシーンでした。タモリクラブで見せる鉄道マニアの一面は本物でした。

9-2 タモリさんと接する時間は短い

ジャンボタクシー3台に分かれて移動するのですが、タモリさんとは別の車なので、顔を合わせるのには撮影のみ、昼食も別々の場所でした。少し残念でしたが、タモリさんはNHK撮影スタッフですら簡単に近寄れない程の大物でした。

ちなみにタモリさん・林田アナには専属の衣装さんが付いていて、1シーンの始まりと終了時に髪や衣装をセットしていました。

9-3 クマ遭遇の話の時

富良野平原開拓発祥の地でタモリさんからヒグマの話振られ、望遠鏡で星を見ていたことも含めてクマ遭遇談を紹介したのですが(図-10)、これはクマ話の開始直後に「同好会の宣伝もお願いしますよ」と故・池田裕前天文同好会長の声が聞こえたからなのです。

先に記したように、その後のタモリさんの反応が大きく変わったこのシーンは故・池田前会長のお力添えがあったことを最後に紹介して、私の話を終わらせていただきます。



(図-10) クマ遭遇談の1シーン

R35 GT-R

石川 清弘



二連の大型車庫

1 はじめに

天文の会報に自動車の記事は関係がないと思いますが、会長からの推奨で書くことにしました。

今回買ったのは、ニッサンGT-Rです。通称R35 GT-Rです。雪道には適さない車とも思えますが、このあたりのことも書いてみたいと思います。

正式名称はNISSAN GT-R Track edition engineered by NISMOです。ほんとうは最上級グレードの純粋なNISMO仕様が欲しかったのですが、ポルシェやフェラーリが買えるくらいになってしまい、あまりにも高額になるため、これに一番近いモデルにしました。



R35 GT-R

2 最初に買った車

私が最初に買った車は、イズム 117 クーペでグレードはジウジアーロカスタムです。有名なカーデザイナーのジウジアーロがデザインした車です。今はトラックメーカーになってしまったイズムも、以前は個性的な乗用車を製造していました。

これには40年間乗りました。新車を買うときに売却しようと思いましたが、愛着があつて車検を取り乗れる状態で取っておくことにしました。これは高校生の時から乗りたかった車です。

R35GT-Rも、当初の開発責任者である水野和敏氏によると、GT-Rの開発チームはイズムをリ



117クーペ

ストラされた者が担当したそうです。こんなところでも 117 と GT-R の縁を感じます。

3 スカイラインとの出会い

私がスカイラインと出会ったのは、小学生の時に懸賞で当たったプリンス スカイライン スポーツのミニカーでした。ミケロッティ デザインのつり目のスカイライン オープンカーです。



スカイライン スポーツ

私はニッサンと合併前のプリンスをリアルタイムで知っています。特に 1966 年の第 3 回日本グランプリで、純粋なレーシングカーであるプリンス R380 がポルシェに勝ったことを今でも覚えています。

R380 の開発は NHK 番組のプロジェクト X にもなりました。その後 R380 のエンジンはスカイライン GT-R に積まれ、レースで大活躍しました。これがハコスカです。スカイライン伝説の始まりです。ちなみにプラネタリウムの地平線のことを業界用語でスカイラインと呼びます。

4 GT-R の購入

117 で高速道路を乗っていたところ、突然エンジンが切れてしまいました。原因は点火コイルの断線でした。もう、こんな古い車で高速走行はむりなようです。そこで新しい車を買うことにしました。買う車の条件は、4WD であること、純粋なガソリン車であること、そして 10 年乗っても飽きが来ないことです。そうすると R35 GT-R になったわけです。

5 販売店

GT-R は旭川では扱ってなく、札幌日産から買いました。買うときには札幌のセールスマンが、ショールームから高速に乗って展示車を持ってきてくれました。GT-R の整備も指定工場でなければ保証がなくなるとのことですが、幸い旭川日産でも可能でした。

6 車庫

ちょうど住宅を建てるタイミングで GT-R を買ったので、車庫を建てました。なにしろ GT-R はクラウンよりも幅が大きいので、それに合わせた車庫が必要になります。旭川日産に車体寸法を聞いて建てました。

また住宅メーカーの担当者が、つごうの良いことに車のマニアで GT-R なら車庫に入れないと盗まれるので車庫に入れなければだめだとのことで建てました。それに 117 クーペも収納するため二連の大型車庫にしました。

7 売れ筋の車

なぜ SUV ばかりが売れるのでしょうか。その前はミニバンばかり、その前は RV と流行なのでしょう。色は黒か白ばかり。今回選んだ色はワンガンブルーです。かなり明るい青です。私はこの色をツァイスブルーと呼んでいます。

8 駐車場で

この手の車に乗っていると、駐車場ではなぜか個性的な車が寄ってきます。写真はフェラーリポルトフィーノだと思われ。これは 2+2 シーターで FR なので、フェラーリらしくないと言えば



フェラーリ

そうなのですが、価格はGT-Rの倍ですが、GT-Rに乗っているとフェラーリも、それほど魅力を感じなくなりました。

もう一つ、こちらはマツダ・ロードスターです。



ロードスター

こちらは逆キャンパーとオイルクーラーを付けた改造車です。車種は不明です。いずれもイオン駐車場でのことでした。



改造車

でも 117 クーペの方が、声を掛けられる率が高いです。それも同じ世代の方にです。ある世代にとって 117 は、あこがれの車でしたから。

9 販売年数

GT-Rは2007年に発売され、すでに16年の間、マイナーチェンジしながら販売されています。驚くことに新車価格よりも、中古車価格の方が高くなってしまっています。

117 クーペも 1968 年から 1981 年まで実に 13 年間もノーモデルチェンジで販売されました。117 は今でも人気があり、けっこうな値段が付いて販売されています。

10 次期モデル

そろそろGT-Rもフルモデルチェンジとなり、

ハイブリッドかEVとなると言われています。自動車好きとしては、純粋なガソリンエンジン車が欲しいのです。それでR35型は、マイナーチェンジをつづけながら製造しているわけです。しかし、抽選販売なので、もう予約できないらしいです。新型フェアレディーZも同じ状況のようです。

私のイメージだとトヨタ車は、ル・マンで優勝したものの、なんとなく年寄りくさいのです。過去にはレクサスLFAや2000GTがあるものなのです。またHondaはF1でも活躍したものの私には2輪メーカーなのです。

11 タイヤ

タイヤも純正でなければならないとのこと。特にトラックエディションは、NISMO仕様と同じでホイールは、ハブボルトが太く純正の必要があります。メーカーはレイズ製で前後とも20インチです。

タイヤも1万kmで交換とのことで、普通の人であれば1年で交換です。私は年に1千kmしか走らないので5年くらいは乗れるでしょう。純正のダンロップタイヤは、コンパウンドが柔らかいよう



前タイヤ



後タイヤ

です。それで減りが早いのでしょう。タイヤブロックも大きくレーシングタイヤのようなトレッドパターンです。タイヤサイズは、前 255/40 ZRF20、後 285/35 ZRF20 です。冬タイヤも同じサイズでダンロップの指定品が純正となっています。

ランフラットタイヤでパンクしても、すぐには空気が抜けないようになっています。そこで空気圧センサーが付いています。このためパンク時には警告灯が点灯するようになっています。また空気ではなく窒素ガス充填のため、これも指定工場での整備です。

12 足回り

ブレーキディスクは前 390 mm、後 380 mmで、かなり大径です。このためタイヤ交換はホイールにぶつける可能性があるため工場で行ってくれとのこと。ブレーキはブレンボ製です。ほんとうはブレーキディスクをオプションのカーボンにしたかったのですが、寒冷地には向かないとのこと、標準仕様のままにしました。標準のままでもブレーキは、非常によく効きます。

この手の車は、冬は乗らない方もいるのですが、私はかまわず乗っています。

フロントはダブルウィッシュボーン式です。リアはマルチリンク式です。トラックエディションのダンパーはビルシュタイン製でNISMO仕様と同じ物を使っています。

117クーペはリアがリジッドアクスルで、リーフスプリングで吊っておりLSDもなく、冬はとても乗りにくいものでした。当時でも、すでに古い機構と言われていました。

13 エンジン

エンジン形式は、VR38DETTで手組み立てです。このエンジンを組み立てできるのは、5人しかいないとのこと。各個体には組み立てた技術者のネームプレートが貼り付けてあります。

V型6気筒3.8ℓツインターボで570馬力もあります。NISMO仕様だと600馬力になります。低回転から高回転まで、大変なめらかに回ります。低回転でも十分にトルクがあります。ターボはIHI



エンジンルーム

製です。

エンジンは後方寄りにマウントされ、フロントミッドシップとなっています。V8やV10にしなかったのもコンパクトにするためと思われます。

最近の車のようにエンジンルームがカバーで覆われていないのも好感が持てます。これはサーキットでメンテナンス性を良くするためと思われます。

エンジンオイルも高温で燃焼されることからモービル1が指定です。他のオイルだとエンジンが焼き付いてしまうそうです。高音で燃焼させるのは効率を上げるためとのこと。オイルはレーシングカーなみにポンプで圧送されるセミドライサンプとなっています。これはカーブでオイルが横Gで片寄って潤滑されなくなるのを防ぐためです。

アイドリングにはリミッターが付いていて、カラ吹きができません。これはエンジン音が規制により、ずいぶん静かです。

このあたりがフェラーリあたりに比べて物足りなく感じる方もいると思われます。タイヤのロードノイズも規制されているそうです。最新モデルはさらに静音設計になっています。

ミッションオイル温度が60度以上になったらブレーキを踏んだままエンジン回転数を4000回転まで上げ、急にブレーキを離すとローンチスタートができます。0-100 km/hが、なんと2.7秒でドラッグレーサーのような加速を味わうことができます。世界のスーパーカーでもこんな加速を味わうことができる車は、あまりありません。

後輪にも重量バランスを取るため、後にギヤボックスを積んだトランスアクスル方式となっています。つまりプロペラシャフトは、前から後輪まで伸び、前輪を駆動するため再度前に戻っています。

バッテリーは、GT-Rと117は外形寸法が同じで互換性があります。ただGT-Rの純正は軽量化のため小容量のものを積んでいます。このため使っていないときには常に充電しています。

充電器はディーラー推薦のシーテック製を使用しています。変速機は一般的なトルクコンバーターではなく、デュアルクラッチトランスミッションとなっています。このためダイレクトな加速を味わうことができます。

マフラーは100φの4本出しです。フジツボ製オーラルチタンで軽量化と耐食性を図っています。昔はステンレス製をありがたがったものですが、今やチタンです。出口は青く焼き入れがしてあります。



マフラー

14 内装

シートはレカロ製の電動となっています。オプションでカーボン製のバケットシートが選べるようになっています。



運転席

カーナビの表示は切り替えができ、各状況がメーター表示できるようになっています。左上から、水温計、エンジン油温計、エンジン油圧計、左下

から、前後トルク配分、トランスミッション油温計、トランスミッション油圧計となっています。



ディスプレイ

センターパネルの3連セットアップスイッチは、左からトランスミッション、ショックアブソーバー、VDC-R（横滑り防止）のセットができ、Rモードにするとスポーツ走行へ切り替えることができます。



セットアップスイッチ

15 走行性能

なにしろ570馬力もあるので雪道をまともに走ることができるかと思いましたが、そこは4WD、ひじょうに安定して走ることができます。普段はFRで必要に応じてフロントも駆動されるニッサンおなじみのATTESA E-TSとなっています。車重が1.7トンもあるので、これがどう影響すると思いましたが、まったく問題なしです。

この手の車は、冬は乗らない方もいるのですが、私はかまわず乗っています。

エンジン出力は570馬力もあります。あのフェラーリF40が478馬力でF1ドライバーでさえも雨の日は乗りたくないと言ったのに、GT-Rは雪道でも安全に乗ることができます。

最新のNISMO仕様モデルではフロントにもLSDが付いているとのこと。

驚くことに117よりも乗りやすいのです。117よりも二回りほど車体が大きいのに、それほど大きく感じないのです。117はFRでABSもLSDもないし、とても冬道だと乗りにくい。簡単にスピンします。ドリフト走行などはだれでもできます。むしろスピンしないように走るのが難しいくらいです。

高速走行では、高速道路を100 km/hで走っても安定性は40 km/hで走っているのと変わりません。なにしろアウトバーンを巡航速度300 km/hで走ることができるのですから。世の中にはスーパーカーと呼ばれていても300 km/hで走ることができない車もあるそうです。

公道でそんな速さは必要ないのですが、いざというときにスピードの出る車は魅力があるものです。なんとGT-RはGPSでサーキットの近くではリミッターが解除され、高速走行ができるようになっています。

速度計は340 km/hまであり、普通の車のメーターの40 km/hのつもりで走っていると80 km/hまで出ているということになります。私は走り屋ではないので、ほとんど法定速度で走っています。いつもほかの車に追い抜かれています。タコメーターは7000回転からレッドゾーンとなっています。



メーターパネル

最低地上高が11cmしかありませんので夏は問題がありませんが、冬はマンホールに落ちると腹を打つことになってしまいます。バンパーを擦らないように気を使います。また急な駐車場のスロープやコンビニの車輪止めも注意が必要です。

16 燃費

これは当然ながら悪いです。そもそも燃費を気にするような性格の車ではないのですが、通常はリッターあたり7 kmですが、雪道だと5 kmくらいなものです。高速では10 kmくらいに伸びます。

17 ボディー

最初は117に比べると、なんとなく美しくないデザインだと思ったのですが、見慣れるとなかなかいいデザインです。ある種すごみのあるデザインが必要であると聞いたことがあります。グループCカーのようなデザインだと美しいとは思いますが、普段は使いにくいことでしょう。

また4人乗りで、後ろの席はかなり狭いですが、4人乗ることができるのはありがたいです。



後部座席

トランクもけっこう広く、ゴルフバッグが2つ積めます。117クーペのように後の席を倒してトランクスルーにできたらもっと便利なのですが。



トランク

ボディー剛性はかなりなものでミシリともしません。117クーペも鉄板が、かなり厚くがんじょうな感じがしますが、GT-Rはさらになんじょうで

す。ドアの厚みもかなり厚く、コインパーキングでは身乗り出さないと、料金が支払えません。

シャーシ下は、パネルで覆われ空力特性に考慮されています。

18 R35 GT-Rの魅力

ここでGT-Rの魅力をまとめておきます。

- ①スーパーカーといえるほどの性能がある.
- ②純粋なガソリン車である.
- ③4WDである.
- ④雪道でも乗れる.
- ⑤クーペボディである.
- ⑥4人乗りである.
- ⑦旭川でも整備ができる.

19 ブガッティ

ポケール社製 1/8 自動車模型を製作したことがあります。戦前のブガッティで戦後のブガッティとは別物です。これは1933年式ブガッティT50です。

直列8気筒DOHC、50スーパーチャージャー付きです。200馬力で最高速度は170 km/hにもなります。トランスミッションはリアアクスルと一体です。

潤滑はドライサンプです。ホイールはアルミ製です。ル・マン24時間レースにも出場したとのこと

です。

当時すでに自動車の機構はここまでになっていました。100年も前に自動車の仕組みは完成していたわけです。この100年で自動車は、ほんとうに進化したのかとってしまいます。

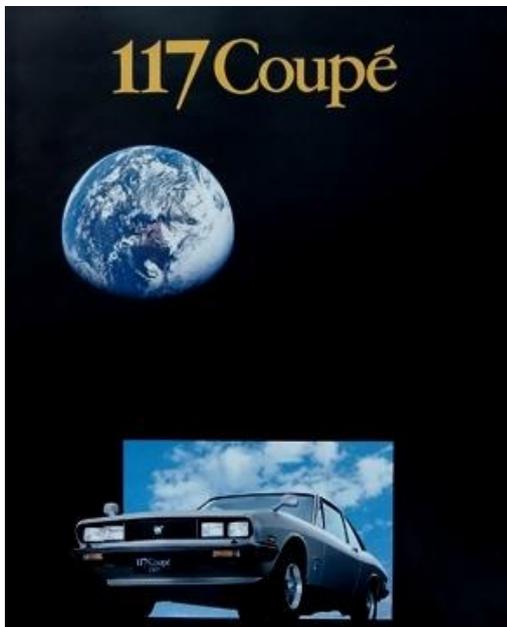


ブガッティT50

20 最後に

R35 GT-Rは乗っていて、また所有していることが誇らしく感じられる、そんな車です。日本の誇りと言っても過言ではありません。

GT-Rは、免許返納まで乗ることになるでしょう。ハコスカの部品が今でもあることから、この時になってもR35の部品は、まだ入手できることと思います。私が生涯で乗ったのは117とGT-Rの2台のみになることでしょう。



117クーペ カタログ



GT-R カタログ

星の教室「宇宙を支配するダークマターとダークエネルギー」を解説して

富 樫 一 憲



1 「星の教室」の講師を担当

旭川市科学館「サイバル」では、下表のように年間6回「星の教室」を開催。その講師を、科学館職員や同好会会員らが分担している。

●令和3年度「星の教室」のテーマ（年間6回）●

回	月日	テーマ・講師（敬称略）
1	5/30	*コロナ禍のため中止
2	7/25 (日)	流星を見よう！ 参加28名 講師：近藤 祐司・加藤 雅彦
3	10/31 (日)	天の川銀河中心の超巨大ブラックホール 「いて座A*」28名 講師：富樫 一憲
4	11/28 (日)	お月さまの作り方—地球の月から系外惑星 の月まで— 30名 講師：松岡 亮
5	1/29 (日)	今年の天文現象2022 参加21名 講師：近藤 祐司
6	3/27 (日)	宇宙を支配するダークマターとダークエネルギー 参加35名 講師：富樫 一憲

しかし、今年度は一昨年度からの断続的なコロナ禍のため第1回は中止、また、第3回は予定された9月よりもひと月遅れての開催となった。

私は、第3回「天の川銀河中心の超巨大ブラックホールいて座A*」と、第6回「宇宙を支配するダークマターとダークエネルギー」を担当した。

2 第6回星の教室「宇宙を支配するダークマターとダークエネルギー」を解説

ここでは2回のうち、参加者が35名と比較的多かった第6回について報告したい。

宇宙の構成成分のうち、星や銀河を形づくる「普通の物質」はわずか5%で、見えないが重力を及ぼす「ダークマター」は27%、そして、宇宙膨張を加速する「ダークエネルギー」が68%もあることがわかってきた。しかし、これらは正体不明で、宇宙物理学、天文学の最大の難問になっている。

この2つの「ダーク」は存在するのは確実なのだが、現代の高エネルギーの巨大実験装置や、精密な観測技術でもってしても、謎のままなのである。しかし、これらは、市民の気持ちをワクワクさせ、興味・関心を引き寄せるようである。

当初、この2つの「ダーク」の解説は難しく、理解するのは困難でないと懸念した。しかし、世界中の科学者が謎を解くべく努力している現状を説明すると、多くの方々からは「分からないということが分かりました」との声が届いた。

科学の最先端では、ある事実が解明されても、次にまた新たな謎が生じる。その状況をくり返しながらも、宇宙の解明は確実に前進している。

3 講座受講者の感想

終了時に講座の感想を記入していただいているが、主なものをここに紹介する。

〈問2〉「私たちは宇宙成分の 95%をまだ知らない」ことをどう思いますか？

- A 「科学者が現在まで調べつくしているのに、まだまだ知らないことがあるということは、いかに宇宙は広いかを思い知らされます」
- B 「宇宙の神秘を感じます。広く、深く、私をワクワクさせてくれます」
- C 「5%でも分かってきたことに驚いています。これからの科学者さんの研究に期待します」
- D 「私たちのすぐ身近なところにもダークマターが存在しているのが不思議な気持です」
- E 「科学者が多くの謎を解明したと思っていたけれど、まだまだ宇宙にはもっとたくさんの謎が残っていると考えるとワクワクした」
- F 「ちょっと怖いけど一理あると思います。将来はもっと詳しく研究できると良いですね！」
- G 「ダークマターの謎解きが今後の観測により進めば、その正体がわかる手がかりになるのでしょうか。進展を望みます」

〈問3〉ダークマターやダークエネルギーの存在は宇宙の精密観測によりわかりました。感想はいかがですか？

- H 「やっぱり科学者は立派な功績をするのですね。頭が良い人がいないと、私たちが住んでいる宇宙を深く理解することはできないと思います」
- I 「科学者は天才だと思いました。計算すれば分かることもあったのは驚きでした」
- J 「自分が子供の頃に知っていたら、さらに興味を持っていたかも知れません」
- K 「未知への挑戦のように前を向くことに力を注ぐ。科学者のはたらきははすごい。戦争よりこの方にお金をかける方が良いと思う」
- L 「ルービン博士が映像で『単純な計算でわかった』と言っていたのが印象的でした。意外なことから発見されるのだろうかと思いました」
- M 「このような講座で、分かってきたことを分かりやすく知らせていただきたい」
- N 「電荷がなく質量しかわからないものを見つけたり候補をあげたり、科学者は凄いと思った」

〈問4〉講座はわかりやすかったですか？

- O 「学生の頃、物理は大の苦手。でも宇宙にはすごく興味があり最後までワクワク。とてもわかりやすく教えていただきありがとうございました」
- P 「おもしろかったです。2時間がすごく短く感じました。またこういう講座に参加したいです」
- Q 「天文学の専門用語が多く頭がぐるぐるになっちゃったんですね。でもすごく面白くて勉強になりました。とてもありがとうございます」
- R 「旭川出身の谷口義明博士の話が興味深かった」
- S 「初めて聞いた単語でもわかりやすく、イメージしやすいスライドで、面白かった」
- T 「少し内容がむづかしかったです。興味をわきました。ありがとうございました」

〈問5〉興味を持ったものを3点選んでください。

今回のテーマに関して 25 項目を提示し、その中から選んでもらった結果からベスト6をあげる。

1位(14票)	2位(6票)	3位(5票)
宇宙背景放射	ビッグバン	宇宙の晴れ上がり
3位(5票)	3位(5票)	3位(5票)
138億年	ダークマター	ダークエネルギー

〈提示した25項目〉

◆宇宙背景放射	◆遠くを見ると過去が見える	
◆ペンジアス・ウィルソン	◆ハッブル	◆ハッブルの法則
◆宇宙膨張	◆宇宙の加速膨張	◆ビッグバン
◆宇宙の晴れ上がり	◆ダーク・スモーク	◆138億年
◆背景放射観測衛星	◆ダークマター	◆ダークエネルギー
◆ツビッキー	◆ルービン	◆かみのけ座銀河団
◆重力レンズ効果	◆アインシュタイン	◆一般相対性理論
◆アインシュタインリング・クロス	◆ニュートリノ	◆アキオン
◆超対称性理論	◆ブラックホール	

4 講座で配布した資料等について

当日、レジュメを配布している。メモをとらずに講座に集中し、反復学習してもらうためである。参考に、以下に配布した資料を添付する。

また、2019年度(令和2年3月26日)に開催された講座「重力波と巨大ブラックホール」を、地元の月刊誌が「旭川市科学館で人気の『星の教室』-しばし現実離れ、宇宙に目向ける-」として、誌面に取り上げてくれた。これも添付させていただく。

5 ちらしや広告等で講座開催をPR

「星の教室」は科学館主催の行事であり、市民広報「あさひばし」誌上で案内され、館のパンフレット「プラネトリウム」にも掲載。さらに、案内ポスターが館内に掲示された。

また、私は独自に「ちらし」を作成、市民活動交流センター「CoCoDe」、市民文化会館、市博物館、フィール旭川7階の自習コーナー等で配布した。そして、「あさひかわ新聞」や生活情報「あかり伝言板」にも無料で掲載・案内していただいた。

最近のノーベル物理学賞は天文分野の業績で授賞、新たな発見のインパクトは大きく天文や物理学の変革を迫っている。

私は、これらの事実をタイムリーかつホットに伝えるため、多くの皆さんの聴講を期待した。

2022年
3月15日号
No.1497
毎週火曜日発行
1部350円・1カ月1,260円(税込)
www.asahikawa-np.com

WEEKLY ASAHIKAWA
あさひかわ新聞

発行所 北のまち新聞社 TEL27-1577 FAX27-1617 〒070-0038 旭川市8条通6丁目2480-1

サイパルで星の教室

「宇宙を支配するダークマターとダークエネルギー」 27日

科学館の天文スタッフによる、天文・宇宙についての講座「星の教室」が二十七日(日)午後二時から、市科学館「サイパル」(宮前1ノ3)一階の学習・研究室で開かれます。

今回は、「宇宙を支配するダークマターとダークエネルギー」宇宙の95%を占める正体不明のダークマターとダークエネルギー」と題して、富樫一憲さん(旭川天文同好会会長)が話します。

富樫さんは「ダークマターとダークエネルギー」は宇宙の九五%も占めていますが、正体は解明されておらず、現代物理学・天文学の最大の謎とされています。この二つの「ダーク」について、視覚的な資料を使いながらわかりやすく解説します」と呼びかけています。

午後四時終了予定。参加無料。対象は小学生以上で、定員は五十人(先着)。参加を希望する人は二十七日(土)までのウェブ(https://www.harip.jp/SksJuminWeb/EntryForm?id=TS64&sp)からの申し込みが必須です。

問い合わせは同館(☎31-3186)へ。

令和3年度 サイパル 第6回 星の教室

続

宇宙を支配するダークマターとダークエネルギー

私たちは宇宙の構成成分の95%をまだ知らない。分かっているのはわずか5%

●期日：令和4年(2022年)3月27日(日曜日) 14:00~16:00 ●入場無料

●会場：旭川市科学館「サイパル」1F 学習・研修室 ●TEL：(0166)-31-3186

●講師：富樫一憲 旭川天文同好会・サイエンスランティア旭川・北海道教育大学旭川校非常勤講師

●期日：令和4年(2022年)3月27日(日曜日) 14:00~16:00 ●入場無料

●会場：旭川市科学館「サイパル」1F 学習・研修室 ●TEL：(0166)-31-3186

●講師：富樫一憲 旭川天文同好会・サイエンスランティア旭川・北海道教育大学旭川校非常勤講師

1 宇宙の構成成分のうち知っているのはわずか5%。残りの95%は未知のダークマターとダークエネルギー。

◆ダークマター (27%)

ルービン博士は、「アンドロメダ」銀河の回転を観測し、宇宙には正体不明の物質が充満することに気づいた。この物質こそが「ダークマター」である。



ルービン博士

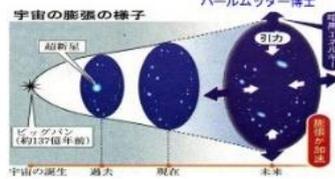
◆ダークエネルギー (68%)

パールムッター博士らは遠くの銀河内の超新星爆発を観測し、宇宙膨張が加速していることを発見。その原因となるのが「ダークエネルギー」。



パールムッター博士

宇宙の膨張の様子



宇宙の誕生 過去 現在 未来

2 宇宙背景放射観測衛星「WMAP」・「Planck」の観測から宇宙の構成成分が明らかに。

米国のマザー博士とスムート博士らは、宇宙背景放射観測衛星COBEプロジェクトを立ち上げ、宇宙についての下記の事実が判明。

宇宙の構成成分

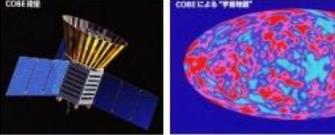
- ◆宇宙の年齢(ビッグバンから現在)138億年
- ◆ハッブル定数 ... H=70.1[km/s・Mpc]
- ◆宇宙の積れ上がり ... 37.6万年後
- ◆宇宙の成分
 - ①普通の物質 ... 5%
 - ②ダークマター ... 27%
 - ③ダークエネルギー ... 68%
- ◆宇宙は極めて平坦(曲がっていない)
- ◆観測された「宇宙構造の種」はインフレーション理論が予測する「量子ゆらぎ」に一致



マザー博士



スムート博士



◆スライドやビデオ映像を用いて視覚的に、どなたにもわかりやすく解説します。

生活情報 *Akari*

あかり

催し

旭川市科学館/第6回星の教室

解説「続・宇宙を支配するダークマターとダークエネルギー」

～私達は宇宙の成分の95%をまだ知らない～

日 時/3月27日(日)14時～16時

会 場/科学館1F学習・研修室

講 師/旭川天文同好会 富樫一憲

科学館(サイパル)

宮前1の3 番31・3186

星の教室「宇宙を支配するダークマターとダークエネルギー」

～宇宙の95%を支配する正体不明のダークマターとダークエネルギー～

日 3/27(日) 14:00~16:00

定50人

講旭川天文同好会会長

富樫一憲さん

申3/1(火)から

PLANETARIUM 2022

プラネトリウム

星の教室 天文や宇宙に関するお話をする講座です。

宇宙を支配するダークマターとダークエネルギー

～宇宙の95%を支配する正体不明のダークマターとダークエネルギー～

■日時/3月27日(日)14:00~16:00 ■講師/富樫一憲(サイエンスボランティア旭川・天文同好会) ■対象/どなたでも ■定員/50人(先着)

■参加料/無料 ■申込期間/3月1日(火)9:00~3月26日(土) 科学館HPで受付

旭川市科学館で人気の市民講座「星の教室」 しばし、現実、離れ宇宙に目向ける

新型コロナウイルス感染症の拡散を避けるため、各種のイベントが

マは「重力波と巨大ブラックホールの謎」。

接、証明するものとなった」。

これは、2016年2月に米国の大学を中心とした国際実験チーム「ライゴ」が「一般性相対性理論で存在を予言した『重力波』の観測に成功した」とするもので、その中心となった米国の科学者3人は、発表のわずか1年後、異例の早さでノーベル物理学賞受賞の栄誉を受けている。

宇宙の成り立ちの解明が深まると期待されている」という。

次々に中止ないし延期になっ

し、受講者は定員を大幅に下回ったが、子どもを含むマスクを着けた21人は、

この壮挙は、日本の国立天文台など、世界約80の研究機関による国際チームによるもので、「今回の観測によって、連星ブラックホールの存在、そのブラックホールが合体して重力波が発生すること、合体後のブラックホールの質量は太陽の62倍にもなる」などが明らかになった」という。

「今後、さまざまな場合の重力波天文学の観測が進むと、例えばブラックホールの起源の謎、ガンマ線バーストの起源や重元素の起源、新星爆発やパルサーの詳しいメカニズムの解明などが期待されている」などと、この日の「星の教室」をまとめた。

その上で、富樫さんは「今後、さまざまな場合の重力波天文学の観測が進むと、例えばブラックホールの起源の謎、ガンマ線バーストの起源や重元素の起源、新星爆発やパルサーの詳しいメカニズムの解明などが期待されている」などと、この日の「星の教室」をまとめた。

旭川天文同好会会長の富樫一憲さん（元旭川東高校校長）を講師に、

ホールを中心とし最新の天体情報の解説に熱心に聞き入った。「ブラックホールは、アインシュタインの一般相対性理論を基に約100年前に予言された天体。今までは周辺の現象から間接的にしか観測できなかったが、今回、その存在を直

物理学の知識に乏しい人には、ブラックホールについて、「光の速さを持つてしても脱出することが出来ない」などと説明されてもよく理解できないが、さらにチンペンキャンペンなのが「重力波」という言葉だ。

「宇宙は138億年前に誕生して急膨張し、火の玉になった。それ以前の宇宙は、光では観測できない未知の世界だったが、重力波はすべての物質を通り抜けるため、宇宙の初期の姿に迫れる。宇宙の成り立ちの解明が深まると期待されている」という。

この日の科学館講座は、コロナウイルス禍で多くの公共施設が休館となり、やむを得ず家に閉じこもりがちだった市民にとっては、しばし現実を離れて宇宙に思いを馳せることのできる貴重な時間だった。



旭川天文同好会の富樫会長らが豊富な資料を駆使して重力波などについて解説

接、証明するものとなった」。

これは、2016年2月に米国の大学を中心とした国際実験チーム「ライゴ」が「一般性相対性理論で存在を予言した『重力波』の観測に成功した」とするもので、その中心となった米国の科学者3人は、発表のわずか1年後、異例の早さでノーベル物理学賞受賞の栄誉を受けている。

「宇宙は138億年前に誕生して急膨張し、火の玉になった。それ以前の宇宙は、光では観測できない未知の世界だったが、重力波はすべての物質を通り抜けるため、宇宙の初期の姿に迫れる。宇宙の成り立ちの解明が深まると期待されている」という。

この日の科学館講座は、コロナウイルス禍で多くの公共施設が休館となり、やむを得ず家に閉じこもりがちだった市民にとっては、しばし現実を離れて宇宙に思いを馳せることのできる貴重な時間だった。

はやぶさ2実物大模型制作にあたって

近藤 祐 司



1 特別な探査機

この探査機に限っては説明不要かもしれませんが、JAXAの小惑星探査機「はやぶさ2」は2014年12月3日に打ち上げられ、2020年12月6日に帰還し、小惑星リュウグウのサンプルを無事地球に届けた小惑星探査機です。

世界で初めて小惑星からのサンプルリターンを成功させた「はやぶさ」の後継機で、小惑星の探査ミッションはもちろん、探査機史上?最も高い人気や注目度までも引き継いだ、まさに日本のトップスターとも言える探査機です。

初代「はやぶさ」の帰還時の注目度はすさまじく、多くの関連書籍や映画が4本も作られたほどです。ひとつの事実を元にして複数の映画や物語が制作されたものといえば……。さしあたって思いつくのは日本では「忠臣蔵」くらいではないでしょうか? (暴れん坊将軍や水戸黄門は誇張が激しいので考えないことにしますね) 「忠臣蔵」

がどのような史実だったかはここでは割愛させていただきますが、忠誠心や任務遂行のための執念、そして自己犠牲……。日本人の心(好み?)に響く、分かりやすく感動できるノンフィクションという点に共通点があるように思います。

「はやぶさ」は姿勢制御装置(リアクションホイール)や航行用エンジン(イオンエンジン)の度重なる故障・不具合、そして燃料漏れ、通信途絶など何度も致命的状況乗り越え、まさに満身創痍で地球帰還を目指しましたが、あと一步のところまで万策尽き運用停止に追い込まれてしまいます。

しかし、プロジェクトチームの意地と執念(検索: 國中氏のエピソード)はそれすら乗り越え、「はやぶさ」の帰還を後押しします。

当時、何度も不死鳥のように復活する「はやぶさ」にプロジェクトマネージャーの川口淳一郎氏もweb記事の中で「はやぶさ、そうまでして君は」と、帰還すれば燃え尽きるしかない運命の「はや

ぶさ」にまるで人に話しかけるように想いを綴っていました。

2010年6月13日午後10時51分、「はやぶさ」は、多くの人に注目されながら、直前に切り離れた帰還カプセルと共に地球大気圏に突入、およそ60億キロの旅を終え燃え尽きました。

まるで火の鳥のように輝き分解して地球に溶けた「はやぶさ」の姿は多くのファンを生み感動を与えました。

さて、その感動物語にすっかりはまってしまった私は、関連書籍を買いあさるほか、東京上野の科学博物館に実物大の「はやぶさ」を見に行ってしまう（写真：国立科学博物館にて）。



「こんな大きさだったのか！」「思ったよりも大きい！」「これと同じものが宇宙に！」

プラモデルやミニチュアなど小さな模型なら、すでに何度も手に取ったことはありましたが、実物大の迫力はまさに圧巻。食いつかんばかりに隅々まで（下からも）覗き込んでいました。

会いたかった有名人にやっと会えたような感覚でした。その時は実物大の探査機の模型を自分で作るなんて発想は1mmもなかった（そもそも思いつかなかった）のですが……。

2 はやぶさ2の活躍

「はやぶさ2」は打ち上げ当初からトラブル知らずで、「はやぶさ」がつかずいたところは、ことごとく改善されており、拍子抜けするほど軽々とミッションをこなしていきました。

順調すぎてこれじゃあ「はやぶさ」のような大冒険物語が描けないじゃないか……なんて声もあつたほどです。

元々あの「はやぶさ」の後継機ということもあって、注目度は高かったのですが、見事にタッチダウンを決め、サンプルも採集、さあ！帰還だ！と世間も再注目しだしたころ……。

3 作ってみるか

「はやぶさ2」のニュースやネットの記事などは、手のひらサイズの模型を眺めながら読んだりしていたのですが、ふと思ったんです……。これの実物大の模型、作れないかな？

「はやぶさ2」の形をよく見ると、ほぼ四角や円、棒の組み合わせでできていることに気がきました。材料さえあればいけるんじゃないか？

機体表面の細かな造形も、金色のひらひらしたシートでうまく表現できるんじゃないか？ アンテナも「はやぶさ」はパラボラアンテナの形状だったけど、「はやぶさ2」は平面アンテナなので格段に作りやすいぞ、たぶん。

太陽電池パドルも平面の組み合わせじゃないか。イオンエンジンやサンプラーホーンも丸い筒があれば……。

自信はありつつも、未知の作業ばかりなので、作り始めたときは本当にできるかどうかはわかりませんでした。どこかで挫折してやめたとするかも知れないです（笑）

でも妥協して1/2模型でもいいじゃないかという考えはまったくありませんでした。大きさを妥協しなければいけないなら作るのやめようとも思っていました。

4 本当に作れるのか

2020年の春頃、はやぶさ2の実物大模型を制作するにあたって、本当に必要な材料がそろうのか情報収集に入ります。

機体の大きさや各パーツの寸法などは、はやぶさ2の関連の記事を読み漁れば、人気の探査機だけあって、ある程度収集することができました。どうしても寸法が分からないところは、模型を使ってすでに分かっているところとの比で割り出しました。

「はやぶさ2」の実物大模型を作るにあたって、絶対省略してはいけない部分をあげていきます。

- ①丸い形の地球帰還カプセル
- ②4つのイオンエンジン
- ③長く伸びたサンプラーホーン
- ④底面に張り付いたターゲットマーカ
- ⑤翼のように展開された6枚の太陽電池パドル
- ⑥円形で平べったい2枚のアンテナ
- ⑦前後12か所のスラスタエンジン

数え上げればきりが無い……。つまり全部なのだ。造形を妥協できる部分など一つもない……。とりあえず材料が確保できた部分から作っていかうかと、制作を開始したのが2020年9月頃、はやぶさ2の帰還は約3か月後の12月6日である。間に合うのか……？



できれば、はやぶさ2の帰還に合わせて展示したいところ。職場ではなかなか時間を作れないので、作業の始めは自宅から始まりました。もし技術的に、またはなんらかの理由で制作をあきらめる場合でも自宅でこっそり始めれば、こっそりやめることもできるじゃない？なんていう悪魔のささやきもあり、自宅のリビングで制作がスタートします。決して広いとは言いきれないですが、テレビ・ビーズクッション・ラグなど普通の部屋だったんです。制作をはじめるとまでは……。



5 似た形状を探せ！

探索機本体の四角い部分の素材は建築断熱材のスタイロフォームを選択しました。安価で軽くて加工しやすい割に形を保つには十分な強度があります。

並行して12個のスラスタエンジンは段ボールで成形しました。段ボールはほぼタダで無尽蔵に手に入り、加工もしやすいため重宝しました。金色のシートで包まれる部分なので塗装の必要もありません。

吹き出し口の漏斗状の形状はどうしようかと悩みましたが、町中探し回ったあげく100円ショップで見た「霧吹き」の形状がぴったりハマることが分かり12個お買い上げ。あわれ霧吹きは通常の使い方をする事なく、解体され加工されてしまいます。金属のパイプを差し込み、根元の段差は紙粘土で成形しました。思い付きでもなかなかうまくいくもんです。



ーにて家屋の排気ダクト?の部品が大きさもほぼ一致するのを見つけて4つ購入。網目状のイオン吹き出し口も執念で100円ショップにて理想の穴あきパターンのもを探し出しました。網目状の物なので排水溝の売り場を探していましたが、台所用品売り場のザル売り場で見つかりました。

さて次に困ったのが、直径40cmの中華鍋にたとえられる地球帰還カプセルです。はやぶさ2を“はやぶさ2たらしめる”重要パーツのひとつであるため形状を妥協するわけにいきません。局面を描いた造形をどうするか何日も悩みました。



それにしてもすでにこの段階で部屋は散らかり放題。しかしまだまだ作業は始まったばかりなのである。

4つのイオンエンジンの形状も困りました。あれを工作で作る出すのは至難の業。スラスターエンジンの霧吹きと同じく、「似た形状のもの」を町中探し回ります。こちらも苦労の末、ホームセンタ



待てよ、いっそ中華鍋を買ってきて金色に塗ってしまえば……。いやいや、金属の鍋は重すぎるし、直径40cmともなればもはや業務用でなかなかのお値段である。

ある日悩みながらホームセンターを彷徨っているときに見つけました。健康器具コーナーにある大きなバランスボール。この形状が使えないか？中に空気を入れてこそその形状なので切り取って使うことはできませんが、形状の型取りはできるのでは……？



小学生が工作の時間によくやるあれ（風船に紙やひもをボンドで貼り付け、乾燥後に風船だけ割って丸い形状を造形するもの）を応用すれば良い。バランスボールもまた、私の目にとまったばかりに、正規の使い方をしてもらえない被害者（物）となってしまった。

直径 40 cm となるところに線を引かれ、水で薄めた木工ボンドでペタペタと新聞紙や広告を貼りつけていきます。うまく形状を型取ることができましたが、強度が足りなかったのでスプレータイプの発砲断熱材を吹き付けて完成。理想的なドーム形状を作ることができました。



6 制作場所を移動だ

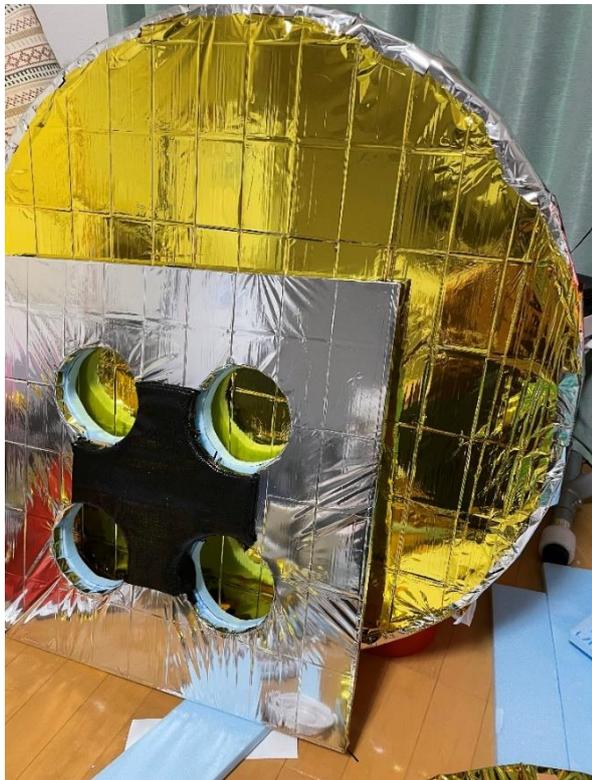
来る日も来る日も家に帰れば、はやぶさ 2 に使えそうな材料や加工方法のアイデアのことばかり考えていました。休みの日はホームセンターや 100 円ショップをうろつきます（商品を手に取ってはいつまでも眺め、首をひねっている変な客です）。

試行錯誤しながら思いつくまま制作しているうちに、そこそこ各部が出来上がっていきます。バラバラのパーツを組み上げるシミュレートをします。

ん … 待てよ？ これ … どうやって部屋から出すんだ？



そうなんです。パーツの制作はいいとして、本体部分は組み立ててしまったら部屋から出ません。とうとう後戻りできないラインを超えたようだ。制作場所を科学館に移します。



ぶのは楽ちんです。

重さの桁は違えども、本物のはやぶさ2も厳しい重量制限の中、できる限り軽量化を考えて作られているはず（おお！ 共通点！）。

7 旭川市科学館、特別展示室内・特設制作所

2020年11月中旬頃、はやぶさ2帰還まで1カ月を切った時期に、自宅にあるすべてのパーツと道具を科学館の特別展示室に運び入れました。



探査機本体や太陽電池パドル、パネル部分の材料



今ならまだ車に積み込める大きさに収まっている。

冗談のような話ですが、この段階になるまで部屋の扉の大きさと制作物の大きさを意識していませんでした。制作に軽い素材を選んだおかげで運



制作中のイオンエンジン部



アンテナ部分はスタートラッカを“重しに”にして接着中

制作場所を科学館に移してからは場所が広い分、格段に作業しやすくなりました。取り付けるパーツの細かい位置関係は小さな模型を参考に違和感ないように組み上げます。

スタイロフォームの強度だけで形を保つのは厳しかったので、内部に木の骨格を作りそれをベースに組み上げることにしました。今にして思えばこの段階にきて基本設計の変更とは、なかなかハードなことをしていたなと思います。

はやぶさ2本体もすべて上から吊るして、下からは一切支えない！

……と、夢みたいなこと考えていたのですが、それも無理なことが分かりキャスター付きの木の台を作成して乗せることにしました。それでも太陽電池パドルは天井から吊ることができたので良かったです。この部分は下から支えてしまうと、どうしても見た目に影響してしまうので……

実物大の迫力を演出するためにこだわったポイントでもあります。

8 本物が帰還してしまう！

本物の方のはやぶさ2の帰還が12月6日と公表されていたので、実物大模型展示の公開は3日前の12月3日にしようかな。と、割と安易に広報やホームページに早い段階で周知していました。

……が、細かなパーツの制作にてこずったり、設置の方法などをあてもない、こうでもないと試行錯誤しているうちに、もしや期日までに完成できないのでは……という不安がよぎります。

猛スピードで地球に向かっているはやぶさ2は物理法則に従って必ず予定日に正確に帰ってきます。何かの都合で延期などありえないので、公開予定日最後の1週間は“ほぼ”徹夜でした(笑)。



11月30日、午後9時頃の状態



12月1日、午前2時頃、太陽電池パドルが取り付けられたが色が塗られていない。スラスタもサンプラーホーンもできてないが大丈夫なのか！？



12月1日、午後10時30分頃、スラスタやサンプラーホーンが取り付けられ、パドルの支柱も黒く塗られている



12月2日（公開前日）午後7時30分頃、ほぼ設置完了、(精魂尽き果てて?) 展示室の床で大の字になって実物大模型を眺める

小惑星リュウグウ視点では、はやぶさ2はこんな感じで降りてきたのかな？ と思いがけず実物大模型ならではの楽しみ方を発見。

なんとか期日までに完成させた「はやぶさ2実物大模型」、3日後の12月6日には、本物の「はやぶさ2」が無事地球帰還、予定通り小惑星リュウグウの小石や砂が収められたカプセルを地球に届けて、新たなミッションに旅立ちました。

さすが「史上最も注目された探査機の後継機」なだけあって、そのニュースは各メディアで報じられます。

実物大模型のはやぶさ2も、北海道新聞さん、メディアあさひかわさん、北海道経済さん、グラフあさひかわさん、などが取材に来られ記事にいただきました。おかげ様で科学館の良いPRにもなりました。

9 こだわりの仕様

似せて作っても光ってなければイオンエンジンじゃない！ 同時点灯もリアルに3つまで。イオンエンジンは青いLEDで再現。本物は光らないと思いますが中和器も赤く光らせました。

私は電子工作の事はよくわからないので加藤さんの助けを借りました。モバイルバッテリーで点くようにUSB端子仕様にして5Vで光るようにしていただきました。加藤さんありがとう！



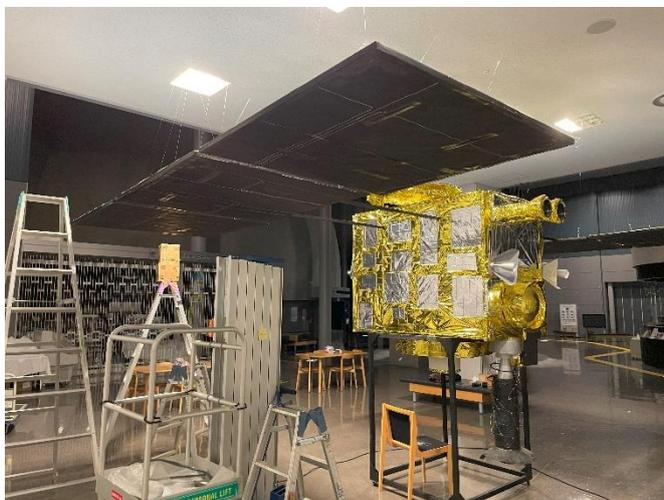
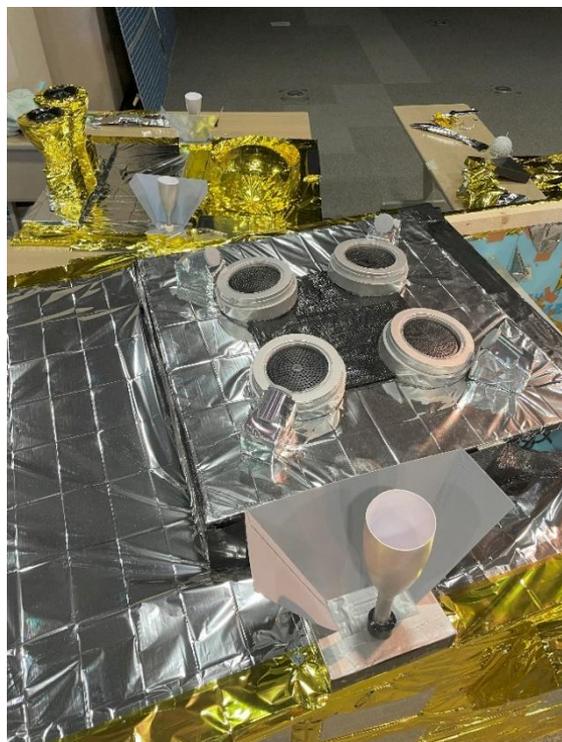
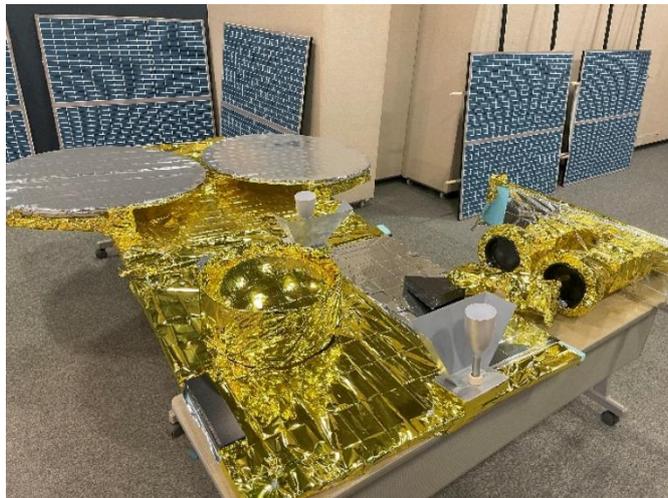
似せて作っても光を反射しなければターゲットマークじゃない！



はやぶさ2が小惑星にタッチダウンする目印に使われるターゲットマークは、入射した光がそのまま反対方向に帰っていく“再帰反射”と呼ばれる性能を有しています。模型とはいえこの性能も再現したいと思い専用の粉（ガラスの微細粉末）を塗料に混ぜ塗布しています。本物さながら暗闇でフラッシュに反射して輝きます。探査機はこの光を目印に小惑星に降下していきます。

10 メンテナンス

科学館がコロナ禍で休館していた時期は、分解してのメンテナンスやアップグレードなどを行っていました。



設置には脚立や高所作業車が必要ですが、重量物は無いので基本一人で設置することができます。今後も細かな造形の見直しや耐久性向上を目指しています。

次号に続く …… のかな???

令和5年度・令和6年度 活動報告

◆令和5年度

月	日	活動内容	備考
4	30	総会準備会 17:30～	天文準備室
5	21	第1回星の教室への協力 「北海道初の超新星発見！ 極寒地での発見物語」 講師：佐野康男 会員	学習研修室 参加30名
	21	佐野氏を囲む夕食会	ブソカフェ
6	4	会計監査	おびった
		旭川天文同好会総会・研修会	
7	8-9	滝川市子ども科学館観測会支援 近藤・伊藤・加藤・(中西)	滝川市 子ども科学館
		第2回星の教室への協力 「夏休み星空講座」 講師：伊藤正光 会員	学習研修室 参加22名
	30	7月例会・ミニ研修会 (星空講座補足・ペルセウス座流星群観測)	CoCoDe
8	13	移動観測会：運天により中止 (鷹栖パレットビルズ・当麻・滝川)	
9	17	第3回星の教室への協力 「アインシュタインの不思議な宇宙」 講師：富樫一憲 会員	学習研修室 参加31名
		9月例会・ミニ研修会 (星の教室の補足・恒星の固有運動)	おびった 参加約10名
11	26	第4回星の教室への協力 「火星衛星探査前夜」 講師：松岡 亮 会員	学習研修室 参加29名
		11月例会・ミニ研修会 (火星衛星の補足・オーロラの科学)	CoCoDe
1	28	第5回星の教室への協力 「今年の天文現象2024」 講師：近藤祐司 会員	学習研修室 参加29名
		1月例会・ミニ研修会 「今年度の天文現象の続き・ホロ出現・ 電波ジェットで観測される超高速運動」	
3	31	第6回星の教室への協力 「ビッグバン宇宙」 講師：富樫一憲 会員	学習研修室 参加60名
		3月例会・研修会(ビッグバン宇宙)	CoCoDe

◆令和6年度

月	日	活動内容	備考
4	21	総会準備会 17:30～	CoCoDe
5	26	会計監査	
		第1回星の教室への協力 「北アメリカ皆既日食観測報告」 講師：加藤雅彦・近藤祐司 会員	学習研修室 参加45名
		旭川天文同好会総会・5月例会・ 研修会(皆既日食補足・谷口先生講演会)	CoCoDe 出席約10名
7	28	第2回星の教室への協力 「天体バルサーを発見した女性天文 学者ベル」講師：富樫一憲 会員	学習研修室 参加32名
		7月例会・研修会 (谷口氏講演会・会報編集について・バルサーの補足)	CoCoDe 出席13名
8	12	ペルセウス座流星群観測(鷹栖町他)	パレットビルズ
	17	旭天Vol. 22原稿 あいわプリントへ発注	天文準備室
9	22	第3回星の教室への協力 「秋の星座の楽しみ方～星座の 見つけ方・歴史・神話について」 講師：伊藤正光 会員	学習研修室
		9月例会・研修会(星座・神話について補足)	CoCoDe
	23	谷口義明氏 講演会 「暗黒宇宙の正体に迫る～95%を占めるダ ークマターとダークエネルギーとは?～」	学習研修室
10	23	谷口義明氏を囲む歓迎会	
	24	*谷口義明氏 旭川東高講演会 「天文部から天文学者へ～研究する人生」	東高体育館
11	1	会報「旭天Vol. 22」印刷・発刊	
	18	会報発刊記念研修会・交流会	ブソカフェ
11	24	第4回星の教室への協力 「 」講師：松岡 亮 会員	学習研修室
		11月例会・研修会	CoCoDe
1	27	第5回星の教室への協力 「今年の天文現象2025」 講師：近藤祐司 会員	学習研修室
		1月例会・研修会	CoCoDe
3	31	第6回星の教室への協力 「ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡」 講師：富樫一憲 会員	学習研修室
		3月例会・研修会(史上最高性能JWST始動)	CoCoDe

*9月以降は予定

旭川天文同好会 会則

令和3年6月27日 改正

〔名称〕

第1条 本会は、旭川天文同好会といい、事務所を会長宅に置きます。

〔目的〕

第2条 本会は会員相互の天文知識を深め、天文の観測研究を行い、会員相互の親睦を図ることを目的とします。

〔入会〕

第3条 本会の趣旨に賛成する人は誰でも入会することができます。

〔事業〕

第4条 本会の目的を果たすため、次のことを行います。

- 1 総会 年に1回春に行います。
- 2 例会 原則として、年6回奇数月に行います。
- 3 役員会及び臨時総会は、必要に応じて行います。
- 4 天文の観測・研究及び普及を行います。
- 5 その他必要なことを行います。

〔組織〕

第5条 本会の活動を促進するため、次の各部をおき、それぞれ事業を行います。

- 1 観測研究部 天文現象の共同観測と相互の研究を行うこと。
- 2 広報普及部 機関誌の発行・天文普及に関すること。

〔役員〕

第6条 本会に次の役員をおきます。

会長1名、副会長2名、事務局長1名、部長各1名、理事若干名、会計1名、監事2名、

- ② 会長は会務を総括し、副会長は会長に事故あるときには、これを補佐します。

〔役員を選出〕

第7条 役員を選出は、総会において会長及び副会長を選出し、その他の役員は会長の指名によります。

- ② ただし、再選はさまたげません。

〔経費〕

第8条 本会の経費は会費・寄付その他をもって充当します。

- ② 会費は年額、大人2000円、高校生700円、中学生以下500円とし、2回までの分納を認めます。

〔慶弔〕

第9条 本会の会員の慶弔に対しては、役員会に諮り、金品を贈呈することがあります。

〔会計年度〕

第10条 本会の会計年度は、毎年4月1日に始まり、3月31日に終わります。

附 則

- 1 この会則の変更は、総会の決議によります。
- 2 本会の発展を妨害し名誉を損するようなことをした会員は、役員に諮り、除名することがあります。
- 3 本会の会則は、昭和26年8月31日から、これを実施いたします。
- 4 昭和35年1月6日から一部改正
- 5 昭和36年7月2日から一部改正
- 6 昭和41年3月20日から一部改正
- 7 昭和56年4月19日から一部改正
- 8 昭和59年5月27日から一部改正
- 9 令和元年5月19日から一部改正
- 10 令和3年6月27日から一部改正

令和6年度 旭川天文同好会 会員名簿

令和6年9月1日 現在

	氏名	同好会役員	
1	阿久津 弘明	観測研究部長	
2	阿久津富美恵		
3	石川 清弘	副会長	
4	小畑 淳毅		
5	伊藤 正光	理事	
6	海道 詩織		
7	加藤 雅彦	会計	
8	近藤 祐司	広報普及部長・事務局長	
9	金野 英二		
10	斉藤 美和		
11	佐野 康男	理事	
12	柴田 健一	理事	
13	高橋 安奈		
14	高橋 美晴	監事	
15	竹田 眞司		
16	富樫 一憲	会長	
17	富田 一茂		
18	中西 要成		
19	南波 智紘		
20	久松 武夫		
21	榎納 智裕	副会長	
22	松岡 亮	理事	
23	湊 きみ子	監事	
24	宮内 哲也	理事	
25	村澤 由香里		

編集後記

「旭天 2024. Vol. 22」をお届けいたします。前号の発行が 2018 年ですので 6 年ぶりの発行となります。

旭川天文同好会の活動は、近年は旭川市科学館で隔月（奇数月）に行われる「星の教室」という天文講座の開催に合わせて、例会を行い会員の交流を深めております。その内容は、その回の星の教室の講師に出席いただき、講座の内容をおさらいしたり、最近の会員の活動（観測など）を発表したりと様々です。参加は天文・宇宙に興味がある方ならどなたでも大歓迎というスタンスで開催しております。ただ、天文好きは共通して自動車やオーディオ、パソコン等、メカに興味を持つ方が多く、天文以外の話題にもよく脱線します。また、新規入会や見学希望の方が参加された時に、偶然久しぶりの知人と再会し昔話に花を咲かせることもありました。

今号の記事の募集にあたって、そんな同好会の活動と同じく、天文・宇宙に関することなら何でも OK（少しくらい脱線しても OK）という考え方で記事を募集した結果、模型作りなど日常のドタバタや、天体観測報告、プラネタリウムに関する旅行記、さながら研究論文や研究報告として通用するような記事など、多方面から貴重な原稿を賜りました。

今号も記事の画像はすべてカラー印刷です。近年のデジタルカメラは高性能が進み、スマートフォンに付属のカメラでも十分な性能を有しております。天体画像などは投稿者が意図した通りに、体験記などは現地で見てきたままの様子がボリュームダウンすることなく掲載できているかと思います。

表紙の画像は、2022 年 4 月 29 日に現れた幻日環を魚眼レンズで撮影したものです。幻日環は気象現象としての要素が強く、地球の大気と太陽光の関りによって起きる現象で、恒星とその惑星が織りなす天文現象ととらえ、表紙に掲載しました。

最後に、今号も私が編集後記を記しておりますが、原稿募集から記事校正に至るまで、会長の富樫一憲さんからの多大なお力添え（ほぼすべての作業です）のおかげで完了することができたことを書き添えさせていただきます。

会報の発行を機に、旭川天文同好会の活動が益々盛り上がることを願っております。

2024 年 6 月 1 日

近藤 祐 司 記

2024年(令和6年)10月1日 印刷・発行

旭川天文同好会会報 旭天 Vol. 22

編集 旭川天文同好会
事務局 旭川市宮前通東 旭川市科学館内
☎(0166)31-3186

印刷 (株) あいわプリント
旭川市3条通4丁目
☎(0166)26-2388
