令和3年3月25日発行　年4回発行　第30巻1号　ISSN 0918-273X

惑星人

日本惑星科学会誌

Planetary People

March 2021 vol30 no 1

●2019年度最優秀研究者賞受賞記念論文
●あかつき 静穏領域CALMの発見
●はやぶさ2 試料カプセル帰還!回収報告
●New Face

The Japanese Society for Planetary Sciences

日本惑星科学会誌「遊・星・人」投稿規定

日本惑星科学会

1．投稿可能な記事

①学会誌に投稿できる記事内容は,

(a) 原著論文：惑星科学に関する研究のオリジナルな報告

(b) 総説：専門外の人にも分かりやすく解説した最前線の研究成果のレビュー

(c) 解説記事：広く会員の関心をひく事柄についての解説

(d) 報告記事：学科, 研究所, 海外機関等の紹介, 国内外の研究会の報告, New Face (博士号取得者の自己紹介), インタビュー記事

(e) 情報記事：各種の情報記事

(f) エッセイ：上記の形式にとらわれず, 惑星科学に関する話題を論じた文章

など, 広く会員の知的好奇心をみたすもの.

②投稿記事の長さについてはとくに制限をもうけない. ただし, 標準的には上記 (a) 〜 (c) については6〜8ページ (1ページ2000字とし, タイトル, 300字程度の概要, 図表を含めたページ数), (d) については4〜6ページ, (e), (f) は1ページとする.

2．投稿資格者

日本惑星科学会会員及び編集委員会が適当と認めた者.

3．投稿原稿及びその送付

①原則として, 投稿原稿はワープロなどにより電子的に作成されたものであること.
また, 原稿のファイル形式については「学会誌原稿作成の手引」に従うこと.

②投稿に際しては, 原稿を日本惑星科学会編集専門委員会委員長宛に送付すること. (連絡先は「学会誌原稿作成の手引」参照.) 送付方法は, E-mail による送付が望ましい. 但し, プリントアウトした原稿２部の郵送による送付も可とする. なお郵送された原稿は原則として返却しない.

③編集委員会が原稿を受領すれば, その日を受領日として, 受領した旨投稿者に通知される.

4．査読及びその後の取扱い

①投稿原稿は編集専門委員長が受領した後, 原著論文や解説論文または編集専門委員会が必要と認めた記事については査読者が選定され査読に付される.

②査読終了後, 査読者の意見を参考に編集専門委員会が掲載の可否を決定する. その際編集専門委員会は投稿者に論文の修正を求めることができる.

③査読に付されない記事についても, 編集専門委員会が掲載の可否を決定し, 必要があれば投稿者に修正を求めることができる.

④掲載が決定すれば直ちにその旨投稿者に通知される.

⑤編集専門委員会の求める修正が完了した最終稿は, WORD , PDF , テキストファイル, いずれかのファイル形式にて, E-mail などにより編集幹事宛に送付すること. (図表については,「学会誌原稿作成の手引」参照)

⑥査読に付された掲載記事については, 査読を経た旨記事内に記載される (vol.24, no.3から適用).

5．校正

校正は投稿者の責任において行う, また, 校正は原則として誤植の訂正に限る.

6．別刷り

論文の PDF ファイルを提供する.

7．著作権

投稿された記事の著作権は, 会誌に掲載された時点で, 著者から日本惑星科学会に移転されるものとする.

8．倫理規定

学会誌に掲載される全ての記事は,「遊星人の記事掲載にあたっての倫理規定」について原稿投稿時に念書を提出し編集専門委員会に了承されなければならない (念書は投稿原稿送り状に記載).

9．投稿料・出版費

原則として無料.
ただし, カラーページの印刷を希望する場合は, 著者が印刷費を負担する.なお, 著者が希望し, かつ編集委員会が認めたものについては, 印刷費用を学会が負担する.カラー印刷の希望が無い場合, カラーの図は白黒印刷される.電子版は費用負担無しでカラーの図を掲載する.

日本惑星科学会誌　遊･星･人
第30巻　第1号
目　次

巻頭言　中村 昭子 …… 3

2019年度最優秀研究者賞受賞記念論文
分子雲から原始惑星系円盤に至るまでの化学組成進化
古家 健次 …… 4

一番星へ行こう!日本の金星探査機の挑戦　その45
～IR2夜面データのクリーンヒット!静穏領域CALMの発見～
佐藤 毅彦, LEON/IR2チーム …… 14

火の鳥「はやぶさ」未来編 その23 ～砂漠の中心で, カプセルを回収する～
中澤 暁, はやぶさ2カプセル回収班 …… 18

遊星人の海外研究記 その5 ～オランダ･ライデン赴任記～
野津 翔太 …… 25

2020年度日本惑星科学会秋季講演会開催報告
出村 裕英, 平田 成, 大竹 真紀子, 小川 佳子, 本田 親寿, 北里 宏平, 奥平 恭子, 嵩 由芙子 …… 32

New Face
大野 和正 …… 40

JSPS Information …… 42

表紙デザイン:BROOKS

Contents

Preface A. Nakamura 3

Chemical evolution from molecular clouds to protoplanetary disks
K. Furuya 4

Road to the first star: Venus orbiter from Japan (45)
- Discovery of quiescent regions CALM in "cleaned" Venus night-side data by IR2 -
T. Satoh and LEON/IR2 team 14

Phoenix"Hayabusa": A tale of the future (23)
- Capsule recovery operation in Woomera desert –
S. Nakazawa and Hayabusa2 capsule recovery team 18

Letter from planetary people working abroad (5)
- Research Life in Leiden, The Netherlands -
S. Notsu 25

Report of 2020 JSPS Fall Meeting
H. Demura, N. Hirata, M. Ohtake, Y. Ogawa, C. Honda, K. Kitazato, K. Okudara, and Y. Daket 32

New Face
K. Ohno 40

JSPS Information 42

《目次へ

巻頭言

新型コロナウイルス感染症の拡大によって，私たちは，一年と少し前には想像しなかった異質な世界に呑み込まれた．新しい生活様式の中によい部分がないわけではないが，過去に当たり前だった日常の多くについて，失うことへの抵抗感は大きい．

一方，自然科学においては，過去の当たり前が覆されることは，ふつう，素晴らしいことである．うれしいことに，惑星科学の世界には，本学会発足（1992年4月）からの30年ほどの間にも新展開や通念の塗り替えがおこってきた．中でも，太陽系外縁天体と太陽系外惑星の発見，および，海外のものも含めた小天体探査の印象が，個人的には特に強い．ここでは前者に対する思い入れの背景を述べたい．

目覚ましい数の外縁天体探索と研究成果の契機となった1992QB1の発見者のひとりは，同世代のJane Luuである．発見すぐの1993年の国際会議で会い，称賛と憧れの念を抱いた．少し遡り，1989-1990年頃，大学院生の私は，研究室の将来計画の議論の渦中に放り込まれた．太陽系のでき方の研究を物理学教室の中でおこなうことについて，太陽系はひとつしかない，ひとつしかないものを対象とするのはむしろ歴史学であり物理学ではないということが語られた．それからわずか数年後に太陽に似た恒星の周りを公転する系外惑星が見つけられ，今や多様な惑星系が観測的に実証され，この多様性を解き明かそうとする研究も盛んである．2019年にノーベル物理学賞が系外惑星発見の功績に対して与えられたことは，惑星科学にとって記念すべきことであった．

惑星科学を語る場は拡がった．生物学者を巻き込んだ太陽系内外の天体の生命居住可能性についての研究も珍しくなくなった．30年後の惑星科学がどうなっているのか，予想もつかない．

中村昭子（神戸大学 大学院理学研究科）

《目次へ

2019年度最優秀研究者賞受賞記念論文

分子雲から原始惑星系円盤に至るまでの化学組成進化

古家 健次[1]

2020年12月19日受領, 査読を経て2021年2月1日受理

(要旨) 星間分子雲から星･惑星系が形成される過程において, ガスや氷の分子組成は系の物理的進化を反映しつつ非平衡に進化する. その詳細な理解は我々の住む地球や生命の起源などの根源的な問いに迫る上で重要である. 本稿では分子雲で水が生成されてから原始惑星系円盤に輸送されるまでの過程や水素及び窒素同位体分別過程について, 筆者自身の関わった研究を中心に紹介する.

1. はじめに

星は分子雲と呼ばれるガス塊の中で誕生する. 生まれたばかりの星(原始星) には原始惑星系円盤が付随し, 円盤内で惑星は形成される. 太陽系も約46億年前に分子雲の中で生まれたと考えられている. 分子雲には既に, 水や様々な有機物が, ガス中とダストを覆う氷として存在することが知られている. では「我々の太陽系に存在する水や有機物は, 太陽系の母体となった分子雲を起源とするのだろうか?」「分子雲から円盤, さらに惑星が形成される過程において, 星間物質はどのような物質進化(ガス, 氷分子組成の進化) を経るのか?」これらの問いは物質科学の観点から見た星・惑星形成論の主要課題であり, 地球や生命の起源などの根源的問いに迫る上でも重要である.

筆者は星･惑星系形成領域における分子進化を主に理論的な手法を用いて研究を行っている. 本稿では, 星・惑星系形成領域における化学について基本的事項を手短にまとめた上で, これまで筆者自身が行ってきた研究である「分子雲で水が生成されてから原始惑星系円盤に輸送されるまでの水の進化」と「窒素同位体分別過程」に関する研究を紹介する.

1.自然科学研究機構　国立天文台　科学研究部
kenji.furuya@nao.ac.jp

2. 星･惑星系形成領域における化学

2.1 星･惑星系形成領域における化学過程

星形成の現場である分子雲は, 水素分子を主成分とするガスとケイ酸塩などの難揮発性物質から成るダスト粒子(典型的には半径0.1 μm程度) で構成される. 分子雲は極低温・低密度環境(10 K, 10^3〜10^4 cm^{-3}程度) であり, そこでの化学は地上でのそれと大きく異なる. 星間空間における化学過程は大きく分けて, 気相反応(イオン-分子反応, 紫外線光解離), 気相と固相間での分配(脱離, 吸着), ダスト上での表面反応の３つに大別できる[1].

分子雲の化学は宇宙線により駆動される. 水素分子(H_2)が宇宙線で電離され, H_2^+が生成される. H_2^+は別のH_2と即座に反応しH_3^+が生成される. H_3^+は重元素(ヘリウムより重い元素)を含む分子生成の起点となる分子である. 分子雲のガスは弱電離状態であり, イオン分子は中性分子に比べて存在量が少ない. しかし, 分子雲は極低温なため, 反応障壁のないイオン-分子反応で様々な分子が生成される. 例えば炭素原子から一酸化炭素(CO)は(1) $C + H_3^+ \rightarrow CH^+ + H_2$, (2) $CH^+ + H_2 \rightarrow CH_2^+ + H$, (3) $CH_2^+ + e^- \rightarrow CH + H$, (4) $CH + O \rightarrow CO + H$ という一連の反応で生成される.

ダストは分子雲の化学にとって２つの点で重要である．一点目は紫外線の遮蔽である．分子雲は銀河内の星からの紫外線(星間紫外線)にさらされている．ダストが紫外線を吸収することで，分子雲内部では光解離による分子の破壊が抑えられる．二点目は，表面反応である．ガス中の原子及び分子がダストと衝突するとダスト表面に吸着する．吸着した原子/分子は表面上を拡散し，反応相手と出会うと(より大きな)分子を生成する．H_2やH_2Oは主にダスト表面反応で生成される．

2.2　化学反応ネットワークモデル

星・惑星形成領域の分子組成は上で挙げたような様々な化学過程の競合で決まる．そのため分子組成進化の研究には，数値シミュレーションが大きな役割を果たしてきた．気相及びダスト表面上での化学素反応を列挙した反応速度式（反応ネットワークモデルと呼ぶ）を数値的に解くことで，星・惑星形成領域にどのような分子がどれほどの量で存在するかを予測できる．

反応ネットワークモデルの予測精度は化学素反応をいかに正確にモデルに組み込むかに左右される．そのため，化学素過程を明らかにする室内実験や理論化学の研究者と協働することが星・惑星形成の化学の研究を推し進めていく上で極めて重要である．本稿では詳しく述べないが，実際に筆者も原子・分子のダスト表面への吸着・拡散，水素分子のダスト表面でのオルソ-パラ核スピン転換などの宇宙における物質進化の理解に不可欠な物理化学素過程についての共同研究を行ってきた [2–4]．本稿で紹介する水の水素同位体や窒素同位体分別過程については個々の反応素過程がよく理解されており，予測精度の高いモデルを構築することが可能である．

化学反応の効率は温度・密度・紫外線輻射場などの物理量に依存する．また，星･惑星形成領域は，(地球上と比べ) 低温･低密度･強い紫外線輻射場という極限環境であり，ガスや氷の分子組成は系の物理的進化を反映しつつ非平衡に進化していく．したがって，化学反応ネットワークモデルを現実的な系の物理的進化を考慮した上で解くことも肝要である[5]．

3. 重水素濃縮から探る水の進化

これまでの天文観測によって，分子雲から原始惑星系円盤に至るまでの様々な進化段階にある天体に，H_2O 分子は普遍的かつ豊富に存在することが分かっている[6]．例えば，1 太陽質量の分子雲中には地球の海の質量の10^{12} 倍以上のH_2Oが氷として含まれると推定される．

その一方で星・惑星形成領域における水の進化，「分子雲で生成された水がどのようにして原始惑星系円盤まで運搬されるのか?」，あるいはよりシンプルに「原始惑星系円盤の水はその場でつくられたのか，あるいは分子雲で生成されたものが持ち込まれたのか?」ということはH_2Oの観測のみからは分からない．これらの問いは太陽系の水の起源に関連深いのに加え，より一般に物質進化が分子雲から円盤へと連続的に起こるのか，それとも何らかの理由で一度リセットされて円盤内でまた一から再スタートするのか，という観点から興味深い．この問いに迫るには水の水素同位体組成(H_2O, HDO及びD_2Oの存在量比)が有用である．星･惑星系形成の各進化ステージにおける水の水素同位体組成を比較することで，観測的に水の「進化」を追跡することができるのである．

この節では，水素同位体分別(重水素濃縮)過程の基本事項と水の水素同位体組成に関する観測事実を説明し，分子雲における水の生成からその原始惑星系円盤への輸送に至るまでの現状の理解を筆者らの数値シミュレーションによる研究に基づいて紹介する．この研究については既に日本語の解説記事[7]があるので，ここでは簡単に結果をまとめる．

3.1　水素同位体分別過程

星間空間において重水素(D)の水素(H)に対する元素存在量比(以下[D]/[H]比と書く)はおよそ10万分の1である[8]．一方，低温度環境下で生成された分子は，[D]/[H]比に比べて，極めて高いD/H比を持つ(重水素体に富む) ことが理論や分子雲の観測から分かっている．例えば分子雲におけるN_2D^+/N_2H^+存在量比は0.1程度にも達する[9]．重水素の濃縮の程度は温度に強く依存するため，分子のD/H比はその分子の生成環境を探る強力なプローブとして

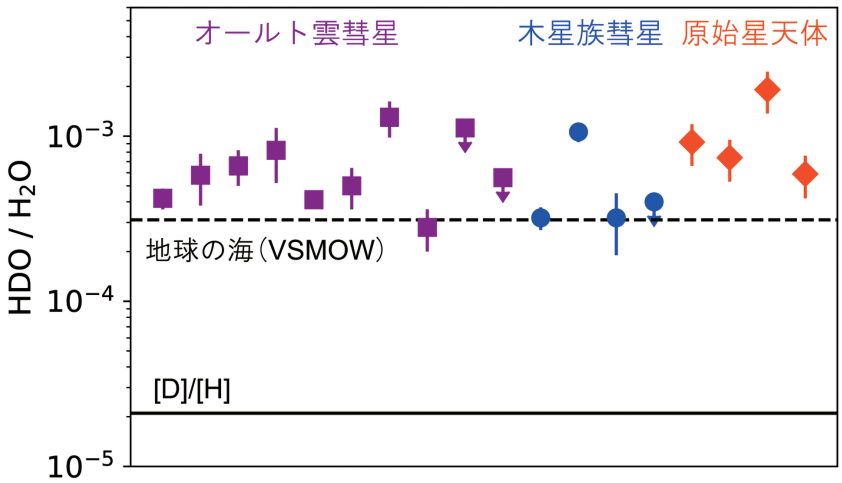

図1：原始星天体及び彗星におけるHDO/H_2O比の観測値．彗星67PのHDO/H_2O比は1.1×10^{-3}である．比較のために，地球の海及び重水素の元素存在量比([D]/[H]比)を示す．値は[12,14]及びその中の引用文献より．

用いられる．

重水素濃縮は以下の同位体交換反応を起点に進行する[10]:

$H_3^+ + HD \rightleftarrows H_2D^+ + H_2$

左向きの逆反応は吸熱反応であり(H_2D^+分子のゼロ点振動エネルギーがH_3^+分子のそれより低いことに起因する)，右向きの順反応は発熱反応である．結果として，分子雲程度の低温度下では，H_3^+はH_2D^+に一方的に変換され，H_2D^+/ H_3^+存在量比は[D]/[H]比よりもずっと高くなる． 2節で述べたように，H_3^+は分子雲における化学反応の起点となる分子であるため，H_3^+の重水素濃縮はその他の分子にも伝搬することになる．温度が上がるにつれ吸熱な逆反応が進みやすくなり重水素濃縮の効率は落ちる．そのため，重水素の濃縮の程度は温度に依存する．またCOがダストに吸着し気相から減少すると重水素濃縮が進行しやすくなる．H_3^+とH_2D^+はCOとのプロトン移動反応で主に壊されるので，CO存在量が減少することでH_3^+とH_2D^+の寿命が延びるためである．重水素濃縮過程のより詳細については[7, 11]を参照されたい．

3.2 水の重水素比の観測

これまでに，彗星や原始星近傍の高温(>100 K)なガスで水の重水素比(HDO/H_2O存在量比)が観測から求められてきた(図1)．彗星は原始太陽系円盤の情報を保持する始原的な天体である．一方，原始星天体で観測される水は，星形成前に生成された水氷が昇華したものと解釈されている．この図から読み取れる情報の一つは太陽系と原始星天体に存在する水のいずれについても，顕著な重水素濃縮を示していることである．このことは，これらの水が低温度環境で生成されたことを示している．加えて興味深いことに，原始星と彗星のHDO/H_2O比は非常によく似ている[1]．この類似性は，太陽系の母体となった分子雲で生成された水が彗星や隕石中に現在に至るまで残っている，という可能性を提示する．

さらに近年になって，H_2OとHDOに加えて，D_2Oの検出も報告され始めた．原始星天体においてD2O/HDO存在量比はHDO/H_2O存在量比よりも1桁程度高いということが明らかになった[13]．さらにロゼッタ彗星探査機により67P/チュリモコフ･ゲラシメンコ彗星(以下，彗星67P)についても同様な傾向であることが明らかとなった [14]．単純に考えるとD_2O/HDO比はHDO/H_2O比の0.25になると期待されるので[2]，前者の方が1 桁高いというのは予想外のことである．にもかかわらず，分子雲で生成された水

[1]彗星のHDO/H_2O比は，地球の海のHDO/H_2O比と同じ程度のものもあれば，2, 3倍程度高いものもある．オールト雲彗星と木星族彗星で系統的な違いは見られない．

[2]水氷のダスト表面での生成を考えるとHDOは"O → OH → HDO"と" O → OD → HDO"の２経路あるのに対し，H_2OとD_2O は1経路ずつしかないため．

と彗星67Pの水で同様な傾向が観測されたことは，分子雲の水が円盤に持ち込まれ彗星67Pの材料となった，という可能性を支持する．現状，観測から得られているのは分子雲と彗星という断片的な進化段階での知見のみであり，観測を適切に解釈するには理論モデルの構築が必須である．

3.3 分子雲から円盤へ：水の生成と輸送

以上のような背景のもと，筆者らは分子雲から円盤に至るまでの水の水素同位体組成進化の反応ネットワーク計算を行った[15–17]．計算は2つのステップからなる．

1. 分子雲(コア)での水氷の生成，
2. 水氷の原始惑星系円盤への輸送．

以下にそれぞれのステップで得られた主要な結果をまとめる．

最初に分子雲及び分子雲コアにおける反応ネットワーク計算を行った．分子雲(コア)は低温なため，ダスト表面上に原子/分子が吸着することでダストは氷マントルに覆われる．シミュレーション結果を基に得られた氷マントル構造の概念図を図2に示す．分子雲において，星間紫外線はダストによって減衰され，原子が分子へと徐々に変換される．水素原子がまず水素分子に変換される．その後，炭素・酸素原子は気相COやH_2O氷に変換される．ダスト表面では，最初にH_2O氷に富んだ層(下層)が生成される．分子雲よりもさらに密度が高く，星間紫外線が(ほぼ)完全に遮蔽された分子雲コアにおいて，H_2O氷に富んだ層の上にCOやメタノール(CH_3OH) に富んだ層(上層)が生成される．上層にもいくばくかのH_2O氷は含まれるが，氷マントル全体で見ると下層にH_2Oの大部分が含まれる．気相COがダストへ吸着することで重水素濃縮が進行しやすくなるため，氷マントルの下層に比べ，上層は重水素に富んでいる．

筆者らのモデルから予測される分子組成，同位体組成のどちらにおいても不均一な構造を持った氷マントルは，D_2O/HDO比がHDO/H_2O比よりも1桁高いという観測結果を自然に説明できる．氷マントル内の重水素濃縮度の勾配のため，H_2Oは下層に主に存在するにもかかわらず，HDOとD_2Oは氷マントルの上層に主に存在する．この場合，氷マントル上層のみを見ると確かにD_2O/HDO比はHDO/H_2O比の

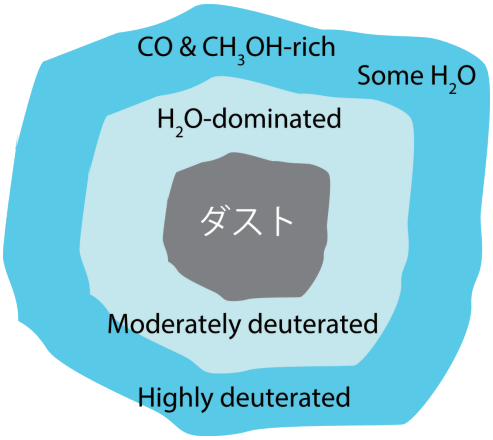

図2：分子雲および分子雲コアで生成される氷マントルの層構造の概念図．

0.25となるが，氷マントル全体でみると下層に豊富に存在するH_2O によりHDO/H_2O 比が薄められ，結果としてD_2O/HDO比はHDO/H_2O比より大きくなるのである．原始星天体で観測される水は氷マントル全体が昇華したものなので，筆者らのモデルは観測をよく説明できる[16]．

次にステップ1で得られた気相と氷の分子組成が，原始惑星系円盤に輸送されるまでにどのような分子組成進化を経るかを明らかにするため，分子雲コアが重力収縮し星と原始惑星系円盤を形成するまでの円盤形成の物理進化モデルと反応ネットワークモデルを組み合わせたシミュレーションを行った(図3)．

その結果，星形成前に生成された水氷の大部分は高温過程や紫外線による破壊を逃れて円盤まで運搬されるが，一部は中心星からの紫外線によって破壊され，再生成され円盤に持ち込まれることが分かった．ここでの再生成の意味は，紫外線により水分子が酸素原子に戻され，再び酸素原子から水分子が作られる，ということである．つまり円盤に含まれる水には分子雲(星形成前)起源のものと星形成後に再生成されたものが混在することが分かった．

この両者は水素同位体組成から明瞭に見分けられる．図4は，横軸に円盤に輸送される間に水氷に照射される中心星からの紫外線量，縦軸に[D_2O/HDO]/[HDO/H_2O]比を取った図である．横軸で約

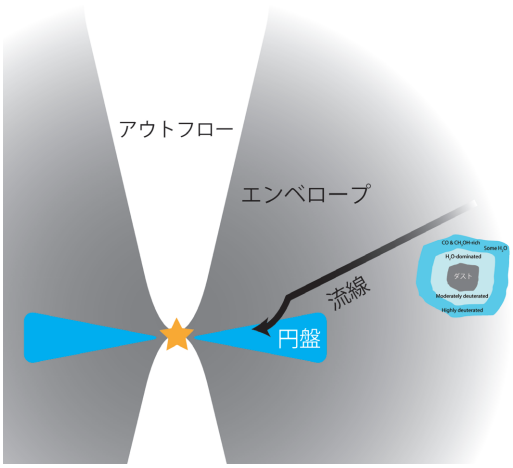

図3：円盤形成モデルの概略図．分子雲コアの重力収縮により，原始星と星周円盤が形成される．原始星近傍からアウトフローが噴き出す．原始星とその周りの円盤は，元あった分子雲コア(エンベロープと呼ぶ）のガスが降着することで成長する．ガスが円盤に降着する流線に沿って分子組成進化を計算する．

400以上（破線の右側）が星からの紫外線によって壊され再生成された水氷に対応する．つまり図4 からは破壊され再生成された水氷は星形成前に生成された水氷とは異なり，0.1程度の低い[D_2O/HDO]/[HDO/H_2O]比を持つことが読み取れる．したがって，[D_2O/HDO]/[HDO/H_2O]比から両者の区別が可能である．一方でHDO/H_2O比を見ると，星形成前に生成された水氷とその後破壊され再生成された水氷は同程度の値であり，両者の区別はつかない．

3.4　今後の展望

以上のシミュレーション結果から，高い [D_2O/HDO]/[HDO/H_2O]比を持つ彗星67Pの水は太陽系の母体となった分子雲起源であると考えるのが自然である．現状，D_2Oが観測されているのは彗星67Pのみであり，今後，より多くの彗星についてD_2O (及びHDO，H_2O)を観測することが太陽系の水の起源を明らかにするうえで重要であろう．そのような観測には大型電波干渉計ALMAを用いた彗星の(サブ)ミリ波帯における分光観測が有効かもしれない．

また本稿で紹介したモデルでは，0.1μm程度の星間ダストを常に仮定しており，円盤内で効率的に

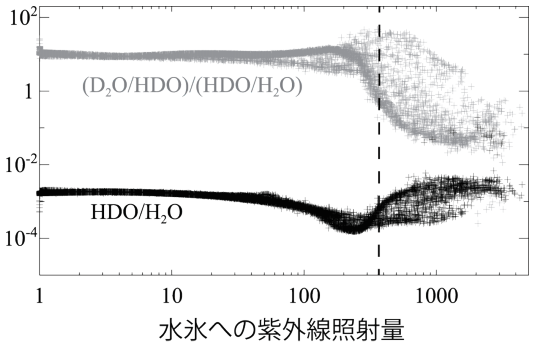

図4：円盤に輸送される間に水氷に照射される中心星からの紫外線量とHDO/H_2O比および[D_2O/HDO]/[HDO/H_2O]比の関係．各点が各流体素片に対応する．横軸は適当な値で規格化してある．破線より右側が水氷の再生成が重要な領域である．図は[17]を改変．

起きると考えられるダストの合体成長を考慮していない．図4から読み取れるように，円盤に輸送される水氷の水素同位体組成にはバリエーションがある．円盤の中でのダストの運動はダストサイズによって異なるため，円盤内で異なる水素同位体組成を持つ水氷が混合されると考えられる．今後，円盤内におけるより現実的な水の同位体組成とその空間分布を明らかにするには円盤内でのダスト進化と分子組成進化の両者を考慮したモデルが必要である．また本稿では水素同位体に着目したが，酸素同位体分別を考慮した同様なモデルの構築も進めていく必要があるだろう．

4. 窒素同位体分別機構

4.1　太陽系物質と星形成領域の分子で観測される窒素同位体分別

窒素には質量数の異なる２つの安定同位体が存在する(^{14}Nと^{15}N)．太陽風の観測から，太陽系全体の^{14}Nと^{15}Nの元素存在量比([^{14}N]/[^{15}N]比)は441である[18]．一方で，隕石や彗星などの太陽系始原物質では，^{14}N/^{15}N比は441よりも低い(=^{15}Nに濃縮している)ことが知られている．例えば彗星氷中のNH_3やHCNの^{14}N/^{15}N比は~150であり，3倍程度^{15}Nが濃縮している[19, 20]．太陽系始原物質に見られる窒素同位体分別がいつ・どのようなメカニズムで起

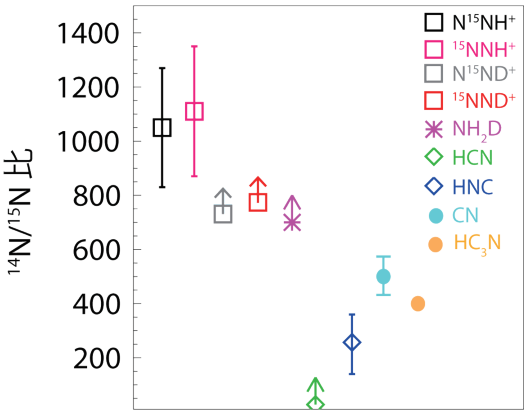

図5：分子雲コアL1544における分子の$^{14}N/^{15}N$比．[21]の表1を基に作成．

こるのかについてはよく分かっていない．窒素同位体分別の起源やメカニズムを探るには星形成領域の観測が有効である．例えば，もし太陽系始原物質に含まれる分子が太陽系の母体となった分子雲を起源とするなら，分子雲中の分子は^{15}Nに富んでいるはずである．

近年の分子雲コアの観測によって明らかになってきたのは分子雲中のガス分子は^{15}Nに富んでいない，ということである(氷分子ではないことに注意)．図5に分子雲コアL1544中の分子の$^{14}N/^{15}N$比の観測値を示す．分子種によって^{15}Nに乏しいものや同位体分別を示さないものがあることが分かる[3]．最も不思議なのは，N_2H^+分子が^{15}Nにひどく乏しいことである．これは，その親分子であるN_2分子が^{15}Nにひどく乏しいことを意味している[4]．N_2分子は窒素の主要な存在形態の一つであるため，他の存在量の小さな分子(HCNやCN)に比べて同位体分別の影響を受けにくいと期待されるため不思議なのである．L1544以外の分子雲コアについてもN_2H^+分子は^{15}Nに乏しいことが分かっており，L1544が特殊な天体であるというわけではない[24]．以下ではN_2H^+分子(N_2分子)が^{15}Nに乏しいことを手掛かりに窒素同位体分別のメカニズムについて考える．

星形成領域において，窒素同位体分別を起こしうる原因は大きく分けて２つある．(1) 気相での同位体交換反応と(2)N_2分子の同位体選択的光解離である[25]．3.1節で述べたように水素同位体分別の主要因は同位体交換反応である．一方，同位体交換反応による窒素同位体分別に関しても多くの理論研究が行われてきた．同位体交換反応を組み込んだモデル計算によると，N_2が^{15}Nに富む傾向になり，観測とは逆センスである($^{14}N^{15}N$が$^{14}N_2$に比べゼロ点エネルギーが小さく，低温では$^{14}N^{15}N$が増えるため)．さらに最近の研究では^{15}N分別を引き起こす起点になると思われていた交換反応に反応障壁があることが分かり，同位体交換反応による窒素同位体分別は極めて非効率であるということが明らかになった[26]．以上のことから，同位体交換反応で観測を説明するのは難しい．

次に同位体選択的光解離について説明する．N_2分子は特定の波長の紫外線を吸収すると光解離する．分子雲の表面から紫外線が入ってくるとき，N_2分子を解離する波長の紫外線は分子雲の表面付近に存在するN_2分子に吸収されることで弱くなる．これを自己遮蔽効果と呼ぶ．分子雲のある程度内部では，$^{14}N_2$は自己遮蔽効果により光解離の効率が落ちるが，存在量の少ない$^{14}N^{15}N$は自己遮蔽効果が効きづらく，効率的に光解離する．このような領域においては$^{14}N^{15}N$が選択的に光解離で破壊されることになるため，N_2分子は^{15}Nに乏しくなる．この傾向は観測と整合的である．分子雲の中心領域では星間紫外線がダストに十分遮蔽され，分子の光解離は無視できる．したがって，同位体選択光解離は分子雲の限られた領域(正確にはガス中の窒素の存在形態がN原子からN_2分子に遷移する領域)でのみ有効に働く．

では，N_2H^+分子に見られる^{15}Nの欠乏は同位体選択的光解離で説明できるのであろうか？一般に分子雲コアは密度が高く，星間紫外線が十分に遮蔽されていると考えられる．その一方，近年の観測からL1544で炭素鎖分子(C_3H_2)が検出されており，そのことから分子雲コアのある程度内部まで星間紫外線が浸透している可能性もある(COが光解離されてできたC原子を材料に炭素鎖分子が効率的に生成されうるため) [27]．したがって，同位体選択的光解離

[3]現在の星間空間における[^{14}N]/[^{15}N]比は200~300と推定されている[22]．太陽系の[^{14}N]/[^{15}N]=441との違いは，太陽系誕生後の46億年間に起こった星々の元素合成の結果であると考えられている [23]．

[4]N_2分子は等核2原子分子のため双極子モーメントを持たず直接観測できない．その代用として，N_2分子から容易に生成されるN_2H^+分子がしばしば観測される．

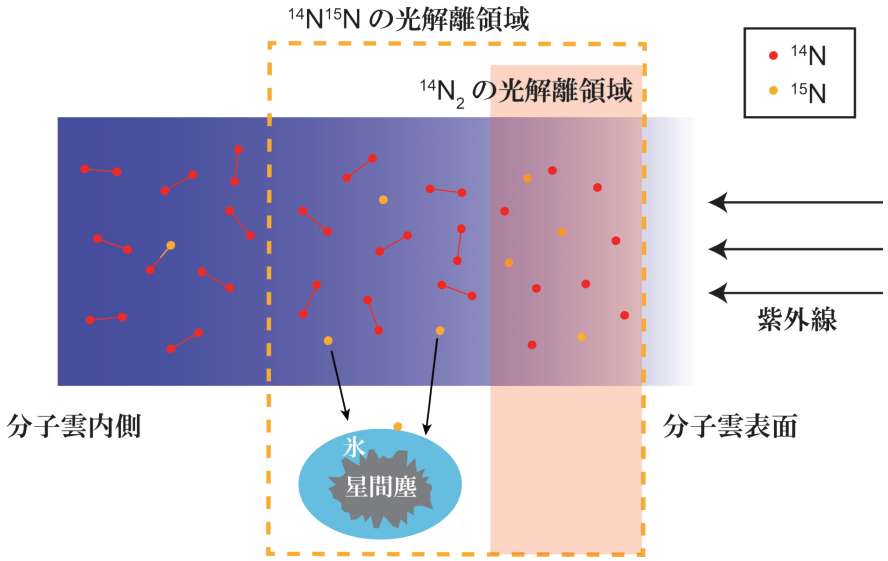

図6:分子雲において窒素同位体分別を引き起こす機構. 筑波大学プレスリリースより.

が実際にN_2H^+の$^{14}N/^{15}N$比に影響を与えているか否かを結論付けることは難しかった.

4.2 N_2D+の^{15}N同位体の観測

そこで筆者らは, 分子雲コアL1544においてN_2D^+(N_2H^+の重水素化物)の^{15}N同位体の観測を行った. N_2D^+は高密度ガスの良いトレーサーとして知られており(重水素濃縮は高密度なほど進みやすいため), 分子雲コア中心部を選択的に観測できる. 実際にL1544においてもN_2D^+はN_2H^+よりもコア中心付近のコンパクトな領域をトレースすることが知られている [28]. そのため, N_2H^+に見られる^{15}Nの欠乏が選択的光解離を要因とするならば, N_2D^+には^{15}Nの同位体分別が見られない(少なくとも分別の程度が小さい)はずである.

以上のアイディアを検証するためにIRAM 30m電波望遠鏡を用いてN_2D^+の^{15}N同位体の観測を行った. 結果として$^{14}N_2D^+$は検出できたが, その^{15}N同位体は検出できなかった. そのことからN_2D^+もN_2H^+と同様に^{15}Nに乏しいことが分かった. すなわち, 分子雲コアでの選択的光解離説を否定する結果となった[29].

4.3 分子雲形成時における窒素同位体分別

では分子雲コアでN_2H^+分子が^{15}Nに乏しい要因をどこに求めればよいだろうか?これまでの議論では分子雲コアで観測される分子の窒素同位体分別は"その場"で起きると暗に仮定していた. 分子雲は, 銀河内の星間ガスが超新星爆発などで掃き寄せられて形成する. 筆者らはこの分子雲の形成段階で^{15}Nの分別(^{15}Nに富んだ氷と^{15}Nに乏しいガス)が起き, それが後の進化段階においても維持される, という以下のようなシナリオを提唱した(図6) [21].

N_2分子の同位体選択的光解離により, N_2は^{15}Nに乏しく, 窒素原子は^{15}Nに富む. 分子雲では酸素原子からH_2O氷が生成されるように窒素原子からNH_3氷がダスト表面反応で生成される. 窒素原子は^{15}Nに富んでいるため, NH_3氷が生成することで, 気相から^{15}Nが選択的に減少することになる. その結果, ガスと固体間で^{15}Nの分別が起き, ガスは^{15}Nに乏しく, 氷は^{15}Nに富むようになる. 一度ガスと氷の間で^{15}Nの分別が起きると, この状態は温度が低く, 氷の昇華が非効率である限り維持されると期待される. したがって, 分子雲形成段階で確立された分別は, そ

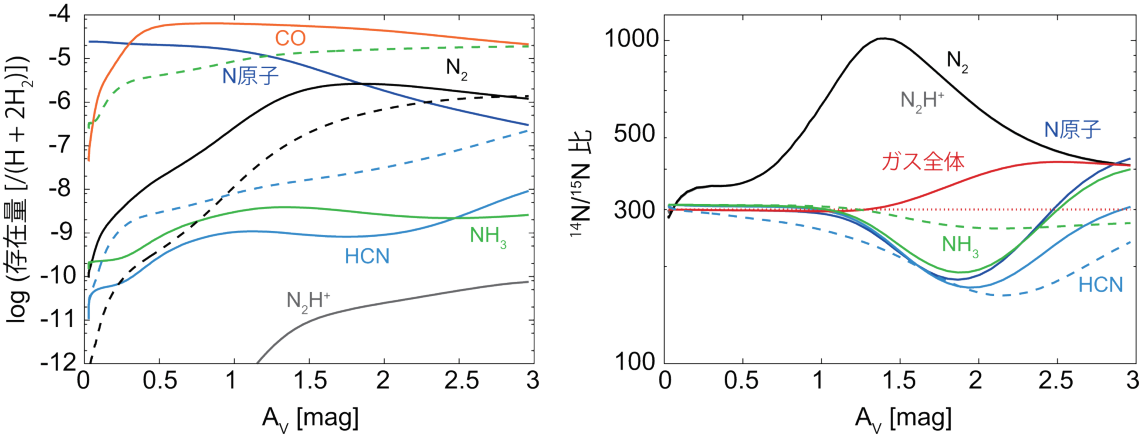

図7：分子雲形成時における気相(実線)および氷(破線)化学種の存在量の時間進化(左パネル)．右パネルには$^{14}N/^{15}N$比を示す．この計算では元素存在量比[^{14}N]/[^{15}N] = 300を仮定した．$^{14}N^{15}N$の選択的光解離領域(~1.5 mag)を通過したガスは^{15}Nに欠乏することが分かる．N_2とN_2H^+の$^{14}N/^{15}N$比はほぼ同じである．図は[21]を改変．

の後の進化段階である分子コアにもそのまま伝わることになる．　このシナリオは分子雲における酸素同位体分別 [30]のアナロジーとして理解できる (N_2がCO，NH_3氷がH_2O氷に対応)．

このシナリオの検証のため，筆者らは衝撃波による分子雲形成時の窒素同位体分別過程を気相･固相での化学反応および同位体選択的光解離を考慮した数値計算で調べた．この計算では現在の星間空間を想定し，元素存在量比[^{14}N]/[^{15}N] = 300を仮定した．結果を図7に示す．時間と共に衝撃波で掃き寄せられたガスの量が増え星間紫外線は減光されるので，図7では横軸に可視減光量(Av)が取ってある(この計算では1 Avは約400万年に相当する)．窒素原子からN_2分子へとガス中での窒素の主要存在形態が変わるところで (A_V ~ 1.8 mag)，選択的光解離によってN_2分子は^{15}Nに乏しく，窒素原子は^{15}Nに富む.さらに窒素原子からNH_3氷が生成されることで，N_2分子を含むガスが^{15}Nに乏しくなることが確認された．希薄な星間ガスから分子雲ができる際にガスは必ず選択的光解離が効率的な領域を通過するため，分子雲全体でガスが^{15}Nに乏しくなる．

筆者らのモデルは，分子雲コアでN_2H^+分子(N_2分子)が^{15}Nに乏しいことを定性的ながらも説明できた初めてのモデルである．しかし，観測を定量的に説明するまでには至っていない(観測ではN_2H^+の$^{14}N/^{15}N$比は約1000，モデルでは400程度)．ガスの^{15}Nの欠乏の程度はNH_3氷の生成と選択的光解離の起こるタイミングで決まる(両者のオーバーラップが大きいほどよりガスは^{15}Nが欠乏する)．化学パラメータで最も重要なのはNH_3の光脱離率であり，すでに室内実験でよく調べられている[31]．今後は重要と思われる物理パラメータ(紫外線強度や密度)が定量的な結果にどう影響するかを明らかにする必要がある．

4.4　窒素の物質進化

筆者らの提唱した窒素同位体分別メカニズムでは，アンモニアを含む氷分子は^{15}Nに富む (図7右)．したがって，分子雲形成時にガスと氷の間に窒素同位体分別(^{15}Nに富んだ氷と^{15}Nに欠乏したガス)が起き，それが円盤に持ち込まれ彗星氷の材料となったと考えると，分子雲コアのガス分子の観測と彗星氷の観測を同時に説明可能である．

一方，最近になって彗星67PでN_2分子が^{15}Nに富んでいることが明らかになった [32]．筆者らのシナリオではN_2分子(気相，固相によらず)は^{15}N に乏しい必要があるので，この事実を説明することは難しい．彗星67PではN_2/CO存在量比が低いことが分かっている(~0.6 %) [33]．筆者らの分子雲モデルではN_2/CO存在量比は5 %程度である (図7左)．例えば彗星67Pが原始太陽系円盤のN_2スノーライン内側で形成され，その後彗星内での化学反応により

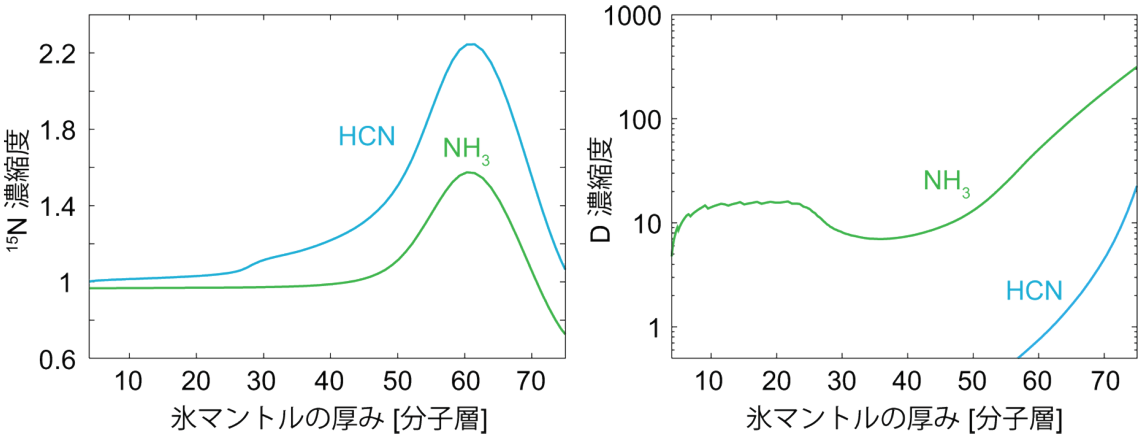

図8：分子雲で形成される氷マントルの層構造. 左図には^{15}Nの濃縮度((^{15}NX/^{14}NX)/([^{15}N]/[^{14}N])), 右図には重水素の濃縮度((XD/XH)/([D]/[H]))を示す. この計算では最終的に, 半径0.1μm のダストの表面上に約75分子層(厚みは約0.03μm) の氷マントルが生成されている. 図は[21]を改変.

NH_3などからN_2が生成されたと考えれば, ^{15}Nに富んだN_2を説明できるかもしれないが, 現状では推測の域をでない. 他の彗星でN_2分子がどの程度含まれているのか, ^{14}N/^{15}N比がどうなっているかは興味深い点である.

星形成領域の氷に比べて彗星氷はNH_3に乏しいことがこれまでの観測から分かっている. 前者ではNH_3/H_2O比が5 %程度であるのに対し, 後者ではNH_3/H_2O比はせいぜい1 %程度である[19]. 彗星氷にNH_3が少ない理由は謎であったが, 彗星67Pでアンモニウム塩が検出されたことから, NH_3がアンモニウム塩に変換されたことが要因であると考えられる[34]. 以上のことから, 窒素を含む分子に関しては水のように, 星形成前に生成されたものが彗星まで生き残るというような単純な描像ではなさそうである. 窒素の物質進化を明らかにするには, VLA電波望遠鏡や現在検討が進められているngVLA電波望遠鏡を用いた原始星天体や原始惑星系円盤におけるアンモニアの観測研究や, 分子雲から原始惑星系円盤に至るまでの窒素を含む分子進化の理論モデルの整備が必要であろう.

最後に窒素同位体と水素同位体分別の関係について触れておく. 図8に筆者らの分子雲モデルで形成される氷マントルの層構造を示した. 重水素濃縮は低温度下であれば時間と共に進行するため, 3節でも見たように氷マントルの表面付近ほど重水素が濃縮している. 一方で, 氷分子の^{15}N濃縮は紫外線が適度に減衰された限られた環境でしか起こらないため, 重水素濃縮とはふるまいが異なる. 隕石中の有機物において重水素のホットスポットと^{15}Nのホットスポットは必ずしも相関しないということが知られている [35]. その要因は星・惑星形成領域において窒素同位体分別と水素同位体分別を起こすメカニズムが異なるからなのかもしれない.

5. まとめ

本稿では, 分子雲から原始惑星系円盤に至る化学進化過程について, 水素及び窒素同位体分別に着目した筆者らの研究を中心に紹介した. 同位体分別は惑星科学と天文学にまたがる共通のキーワードである. 天文観測や分析から得られる, 分子雲や彗星という断片的な進化段階における化学組成を理論モデルを介して読み解くことで, 星形成・惑星系形成に伴う物質進化の全体像に迫ることができる.

本稿では紹介できなかったが, ALMAによる高空間分解・高感度なガス分子輝線観測により, 原始惑星系円盤内の化学構造が見え始めてきた(関連する遊星人の記事として[36]がある). 最新の観測事実と理論モデルに基づき, 物質科学的な観点から惑星系形成の解明に貢献していきたいと思っている.

謝辞

本稿は，2019年度最優秀研究者賞受賞記念論文として執筆しました．推薦して頂いた相川祐理氏と選考委員の皆様に感謝いたします．本稿で紹介した研究を含むこれまでの研究は，多くの方々との共同研究です．大学院時代の指導教員である相川祐理氏，ポスドク時代の受け入れ研究者であるEwine F. van Dishoeck氏をはじめ，国内外の多数の共同研究者の皆様に心よりお礼申し上げます．また，本稿を丁寧に査読いただいた査読者の方にもお礼申し上げます．

本研究はJSPS科研費17K14245の助成を受けたものです．

参考文献

[1] Tielens, A. G. G. M., 2005, The Physics and Chemistry of the Interstellar Medium. (Cambridge: Cambridge Univ. Press), 219.
[2] Furuya, K. et al., 2019, ApJ 882, 172.
[3] Kouchi, A. et al., 2020, ApJL 891, L21.
[4] Shimonishi, T. et al., 2018, ApJ 855, 27.
[5] Aikawa, Y., 2013, Chem. Rev. 113, 8961.
[6] van Dishoeck, E. F. et al., 2014, Protostars & Planets VI (Tucson: Univ. Arizona Press), 835.
[7] 古家健次, 2018, 天文月報 111, 1.
[8] Linsky, J. L., 2003, Space Sci. Rev. 106, 49.
[9] Crapsi, A. et al., 2005, ApJ 619, 379.
[10] Watson, W. D., 1976, Reviews of Modern Physics 48, 513.
[11] 相川祐理, 2005, 遊星人 14, 168.
[12] Persson, M. V. et al., 2014, ApJ 563, 74.
[13] Coutens, A. et al., 2014, ApJL 792, 5.
[14] Altwegg, K. et al., 2017, Phil. Trans. R. Soc. A 375, 20160253.
[15] Furuya, K. et al., 2015, A&A 584, 124.
[16] Furuya, K. et al., 2016, A&A 586, 127.
[17] Furuya, K. et al., 2017, A&A 599, A40.
[18] Marty, B. et al., 2011, Science 332, 1533.
[19] Mumma, M. and Charnley, S. B., 2011, ARA&A 49, 471.
[20] Shinnaka, Y., 2016, MNRAS 462, 195.
[21] Furuya, K. and Aikawa, Y., 2018, ApJ 857, 105.
[22] Ritchey, A. M. et al., 2015, ApJL 804, L3.
[23] Romano, D. et al., 2017, MNRAS 470, 401.
[24] Redaelli, E. et al., 2018, A&A 617, A7.
[25] Heays, A. N. et al., 2014, A&A 562, 61.
[26] Roueff, E. et al., 2015, A&A 576, 99.
[27] Spezzano, S. et al., 2016, A&A 592, L11.
[28] Caselli, P. et al., 2002, ApJ 565, 331.
[29] Furuya, K. et al., 2018, A&A 615, L16.
[30] 倉本圭, 圷本尚義, 2005, 遊星人 14, 193.
[31] Martin-Domenech, R. et al., 2018, MNRAS 473, 2575.
[32] Altwegg, K. et al., 2019, ARA&A 57, 113.
[33] Rubin, M. et al., 2015, Science 348, 232.
[34] Altwegg, K. et al., 2019, Nat. Astro. 4, 533.
[35] Busemann, H. et al., 2006, Science 312, 727.
[36] 野村英子, 2019, 遊星人 28, 200.

《目次へ

一番星へ行こう!日本の金星探査機の挑戦 その45 ～IR2夜面データのクリーンヒット!静穏領域CALMの発見～

佐藤 毅彦[1,2],LEON/IR2チーム

（要旨）あかつきIR2による金星夜面データを「測光」仕事に使うことを妨げる問題点，それを解決するために開発した手法，そして金星大気中の静穏領域CALMの発見について紹介します．内容としては，科学雑誌Icarusに発表した論文[1]のエッセンスで，それをストーリー仕立てで語ります．

1.「昼面からのコンタミ」を取り除け!

あかつきIR2カメラの顕著な業績はこれまで，「赤道ジェットの発見」[2]や「下層雲の形態学」[3]などでした．これらは何らかの画像強調処理を行って雲の模様を見やすくし，その運動を追跡したり，形状変化を追ったりする仕事です．当然のことながら強調処理を行った画像は，模様の正確な明るさを調べる「測光」仕事には向きません．「雲粒子の光学的・物理的性質（波長2.26, 1.735 μmの組合せ）」や「大気下層のCOの定量（波長2.26, 2.32 μmの組合せ）」といった，IR2カメラの重要研究テーマでありながらこれまでなされなかったのはその「測光」仕事ですから，強調処理前の「素のデータ」からそれを測らなければなりません．しかしそこに立ちはだかる問題があったのです．

それが「昼面からのコンタミ」です（図1a, b）．IR2の検出素子（白金シリコンPtSi）は厚み400 μmのシリコン基板に微細加工で形成されています．シリコンは赤外線には透明なので，どうやら基板内部で多重反射が起きるらしく，強い点光源からの光は大きく外へ広がってゆきます（点広がり関数PSFの裾野が広い）[4]．金星夜面を撮像するとき，同じ視野内に何桁も明るさの違う昼面三日月が入ります．これがPSFで広がる影響＝「昼面からのコンタミ」は甚大で，夜面の明暗はすべて「下駄を履いた」形になりますし，しかもそれは昼面からの離れ具合によっても一定しません．「素のデータ」がこれでは「測光」仕事ができない…IR2チームに危機感が漂います．

この「昼面からのコンタミ」除去を達成すべく，精鋭の悪戦苦闘が続いていました．

2.「コロンブスの卵」

できてしまえば単純なことではありますが，時間的に近接して得られた2.26 μm画像（図1a）から2.32 μm画像（図1b）を引き算することで，このコンタミ除去が達成できました．その原理は次のとおりです．

- 両画像は波長が近いことから，昼面の明るさは似ています．当然，夜面に被さるコンタミの強さも似ています．1に近い係数で若干の明るさ補正をした上で引き算することで，コンタミは消えてしまいます．
- 一方，夜面の雲模様は熱い下層大気による下からの熱赤外線により照らされています．波長2.32 μmはその下層大気に存在する一酸化炭素の吸収で減光していますので，引き算をしたあとも夜面の

1.宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所
2.総合研究大学院大学・物理科学研究系・宇宙科学専攻
satoh@stp.isas.jaxa.jp

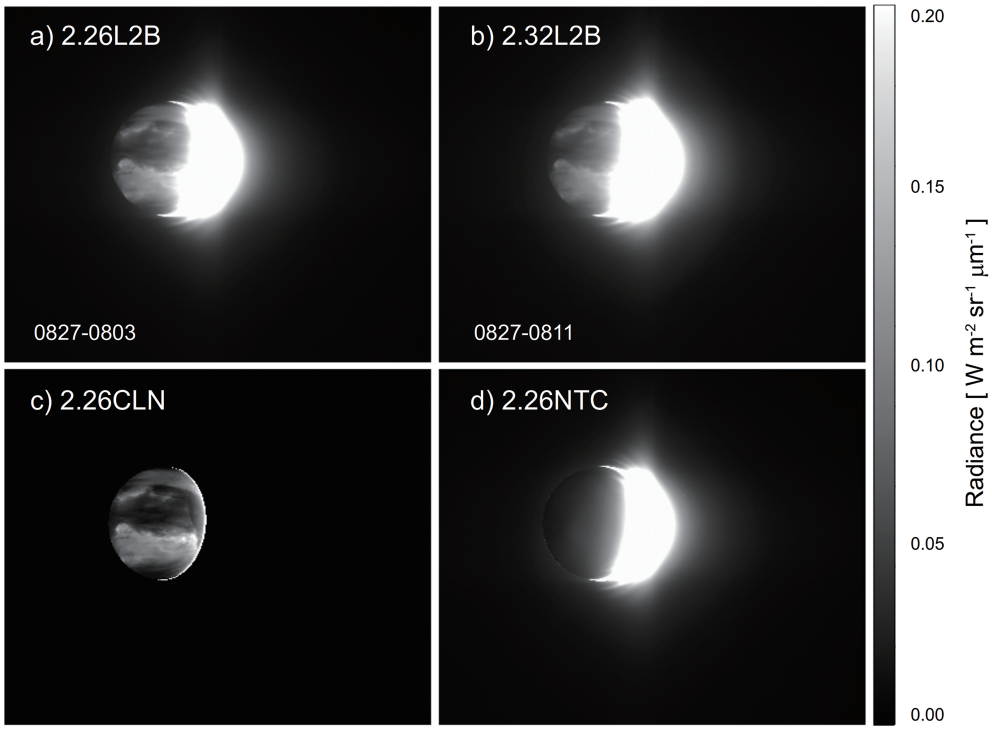

図1:「昼面コンタミ」除去プロセス. a) オリジナル2.26 μm画像. b) オリジナル2.32 μm画像. c) aからbを引いて夜面をクリーンにしたもの. d) aからcを引いて「昼面コンタミ」成分だけを残したもの.（文献[1] CC-BY 4.0）

雲模様はしっかりと見え続けます.

基本的な原理は，たったこれだけのことです. とはいえ良好な測光精度を得るためには，各ステップでもうちょっと考慮すべきことがあります.

- 引き算をする際に乗じる補正係数は「本来の昼面の明るさ違いを補正」と「キャリブレーション誤差分を補正」の両方を行います. 最適な係数は昼面から深宇宙に広がった光を実測し，実データから求めます.
- 引き算後に見えている夜面は，当然のことながら，2.26 μm夜面本来の明るさではなく「目減り」しています. どれだけ目減りするかは，CO吸収波長帯である2.32 μm夜面の明るさによる，すなわちこの目減り分を評価することで副次的に下層COの量がおおまかに分かる，というおまけがついてきます.

はい，これで「引き算ののちに目減り分を補正」して，昼面コンタミの影響が取り除かれた2.26 μmデータ(図1cの2.26CLN: cleaned night)が得られました. これを元の2.26 μm画像から引くと，何が残るでしょうか?それは「昼面のコンタミ」そのものです(図1dの2.26NTC: net contamination). もうひとつの夜面波長である1.735 μmデータに対しては，この2.26NTCをまた係数倍して引き算することで，昼面コンタミの影響を軽減できたのです(いろいろな理由で「除去」とまでいえないところが，少々苦しいですが).

こうして，初めて「測光」仕事に使えるIR2夜面データを手にし，いよいよデータ解析となります.

3. 座標に縛られるな. 座標を使いこなせ!

伝統的に，2波長(2.3 μm, 1.74 μm)で測定された夜面模様の明るさを相関プロットにし，その中から情報を引き出す手法がとられています[5, 6]. クリーンになったIR2データをその方法でプロットしても，どうも特徴がうまくつかめません(図2a). そこ

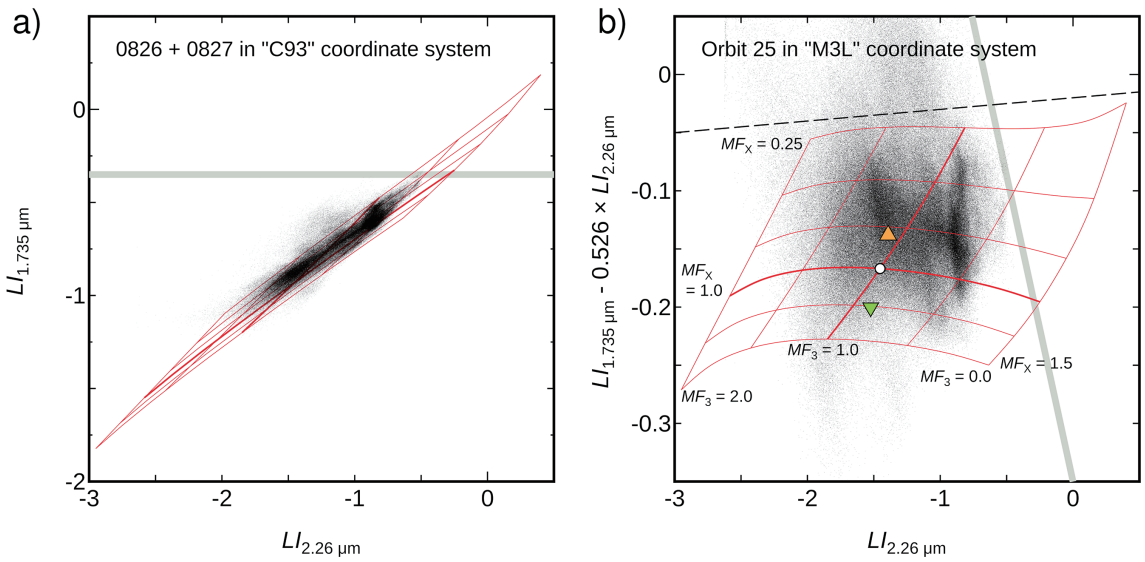

図2: クリーンとなったIR2データを2波長(2.26 μmと1.735 μm)の相関プロットで解析. a) 通常用いられる座標系(横軸2.26 μm, 縦軸1.735 μmともに常用対数). b) 新しく導入したM3L座標系にプロット. 中央右寄りの縦に集中したデータ群がCALM. (文献[1] CC-BY 4.0)

で，座標変換により特徴抽出を試みました．まず図2aの右上がり直線が水平になるような「せん断変換」を導入し，次に縦軸を拡大して特徴を見やすくしたものが図2bです．金星雲粒子のモード3(大粒子)を増減させたときの明るさ変化がほぼ水平になるような変換なので，この新しい座標系をM3L(Mode 3 Leveled)座標系と名付けました．図にオーバーレイしているグリッドは，おおよそ水平方向の変化がモード3粒子を増減させた場合(M3Lの定義ですね)，おおよそ垂直方向の変化がそれ以外の粒子を増減させた場合に対応しています．

そうすると，とても特徴的なデータ点の集団が見えてきました．われわれはこれをCALM(Clouds Aligned Linearly in M3L)と命名し，その性質を調べてみることにしたのです．それにしても座標を変換するだけでこんなものが見えてくるというのは，なかなか愉快なことですね(この頃には，危機感はすっかり薄れてしまっています)．

4. CALMの正体を探れ!

次には，CALMはどのような領域なのか，データ点をIR2画像に再マップして調べてみました(図3)．図でピンクに色づいた領域がCALMに対応した場所です．黄色はCALMではない普通の(？)場所，濃い紫色は特に1.735 μmでコンタミ軽減が不十分な(「除去」といえないのは，このあたりが理由です)場所に対応しています．

こうして見るとCALMは，中緯度～高緯度の明るい，そして「グチャグチャ感のない」領域に対応しているようです．そして面白いのは，赤道の暗いバンドとの境界を形成する特に明るい領域はCALMではない(図3の0826-2203画像)ことです．さらに，明るいストリークもその周辺にCALMのピンク色があるものの，コア部分はCALMでなくなっています(図3の0828-2203画像)．これらのことから，われわれはCALMを次のような場所であると解釈しました．

- CALM領域は比較的静穏な場所で，そこではモード粒子の構成比が，原材料である硫酸蒸気の量，平均的な鉛直対流場などにより達成される平衡状態で決まると考えられます．
- 赤道暗帯との境界，ストリークのコアなどはおそらく強い下降流が生じている場所と考えられます(実際に後者は，高解像度数値計算により，モデル上ではそうであることが示されています[7])．そのような場所ではモード粒子の構成比が平衡状態

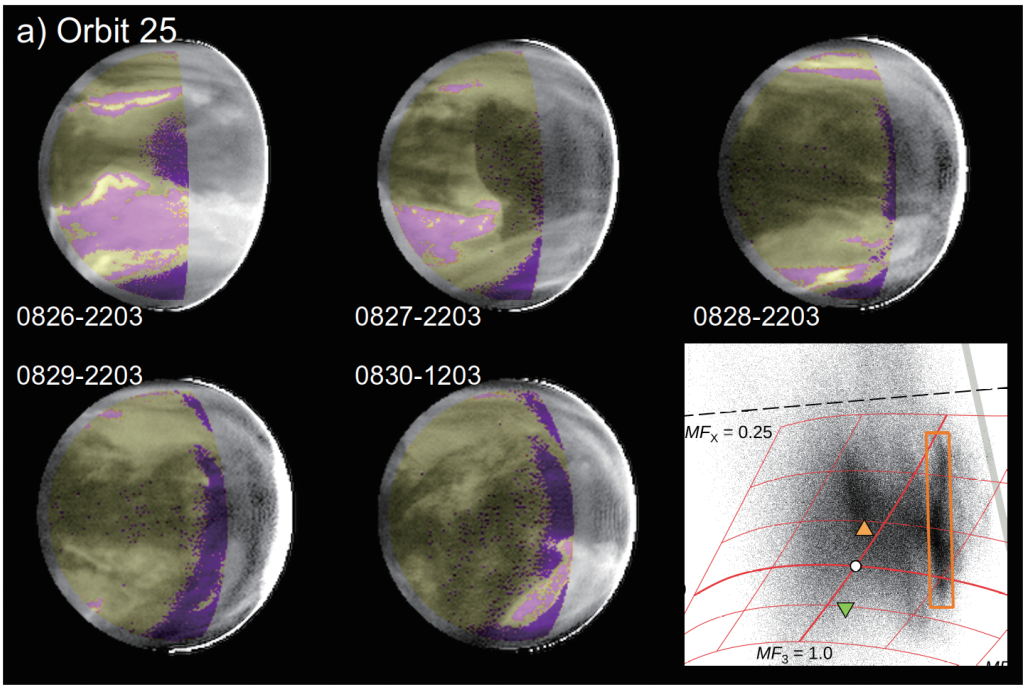

図3: CALMの夜面画像における識別(ピンク色の領域).(文献[1] CC-BY 4.0)

を保ち続けることができず，CALMから外れるでしょう.

というものです. CALMという名は，この「静穏な場所」という意味をもたせるためにつけたわけです.

金星の観測データから直接的に鉛直運動を示すことは難しいのですが，この解析結果はそれを可能にするひとつの方向性を示したと考えています.

5. IR2データをしゃぶりつくせ!

というわけで，IR2夜面データを「測光」可能な品質に向上させることができ，そこから第一弾としての科学成果を得ることができました.「昼面コンタミ」除去として他にも検討・開発している手法(デコンボリューションを用いるなど)もあり，IR2データをしゃぶりつくすフェーズの入り口に，ようやくたどり着いたといえます. 危機感は期待感に変わりました.

参考文献

[1] Satoh, T. et al., 2021, Icarus 355, 114134.
[2] Horinouchi, T. et al., 2017, Nature Geoscience 10, 646.
[3] Peralta, J. et al., 2019, Icarus 333, 177.
[4] Satoh, T. et al., 2017, Earth Planets Space 69, 154.
[5] Carlson, R.W. et al., 1993, Planet. Space Sci. 41, 477.
[6] Wilson, C. et al., 2008, J. Geophys. Res. 113, 10.1029/2008JE003108.
[7] Kashimura, H. et al., 2019, Nature Communications 10, 23.

《目次へ

火の鳥「はやぶさ」未来編 その23 ～砂漠の中心で，カプセルを回収する～

中澤 暁[1]，はやぶさ２カプセル回収班

（要旨） 小惑星探査機「はやぶさ２」は，2020年12月に小惑星リュウグウのサンプルを地球に届けた後，次の旅へ向かった．この「はやぶさ2」が立ち上がったのは，ちょうど10年前，東日本大震災直後の2011年5月であった．プロジェクト化に向けた打合せや審査会を余震や計画停電などの中で必死に行ったことが思い出される．前例がないくらいの短期間で探査機を開発し，打ち上げから一連の小惑星近傍運用を終え，無事に地球帰還を果たせたことは当事者として非常に感慨深い．本稿では，カプセル回収班のとりまとめを拝命した筆者の視点を交えつつ，その最終フェーズである地球帰還とカプセル回収（日本への輸送を含む）について概説する．

1. はじめに

「はやぶさ（以降初号機と呼ぶ）」は工学衛星であった．「はやぶさ2」は一歩進めて科学衛星の位置づけとなり，非常に多くの分野がプロジェクトを支えた．

「はやぶさ2」に限らず探査機の開発フェーズは工学が主体となる．軌道設計から始まり，探査機ハードウェアの電気，熱，構造，センサ類など各サブシステムの開発，そしてそれらをまとめる運用設計，地上系の設計開発，多岐にわたるメンバーが支えた．特に初号機で大きなトラブルが発生した化学推進系やイオンエンジン系のチームは，「同じ轍を踏まない」という高いモチベーションで開発に臨んでいた．

小惑星近傍運用になると，カメラや分光計，レーザー高度計など理学チームの出番となる．とくに「はやぶさ2」では裾野が広がり，従来のリモートセンシング科学に加えて衝突実験のメンバーが加わった．人工クレータ生成は衝突実験の野外バージョンである．筆者もかつて衝突実験に少しだけ参画していたが，微小重力下で且つ実際の小惑星物質によるイジェクタカーテンを室内実験のように連続撮像できたことは感動であった．

そしていよいよ地球帰還とカプセル回収である．持ち帰ったサンプルは実際に手に取ることができ，物質科学の出番となる．そのためのカプセル回収活動は，後述のとおり探査機開発や運用とは大きく異なった地上ならではの技術が支えることになる．「はやぶさ2」は多岐にわたる理工学で支えられており，そこがまた面白味である．

2. 不具合はお宝

開発フェーズでは「地上でなるべく不具合を発生させ，軌道上に不具合を持ち込まないこと」をモットーの一つに掲げていた．人が作った以上，不具合はどうしても潜在している．それらをあぶり出すような試験を行い，地上で解決した上で宇宙に送り出すことを目指した．どこまで達成できたか目に見えないが，幸い「はやぶさ2」はここまで健全に運用できている．

初号機は種々の不具合やトラブルに見舞われた．ただし，それらの原因が分析され，Lessons Learnedとして「はやぶさ2」に引き継がれた．起こりうるトラブルとその再発防止策は非常に重要である．

1.宇宙航空研究開発機構　宇宙科学研究所
Nakazawa.satoru@jaxa.jp

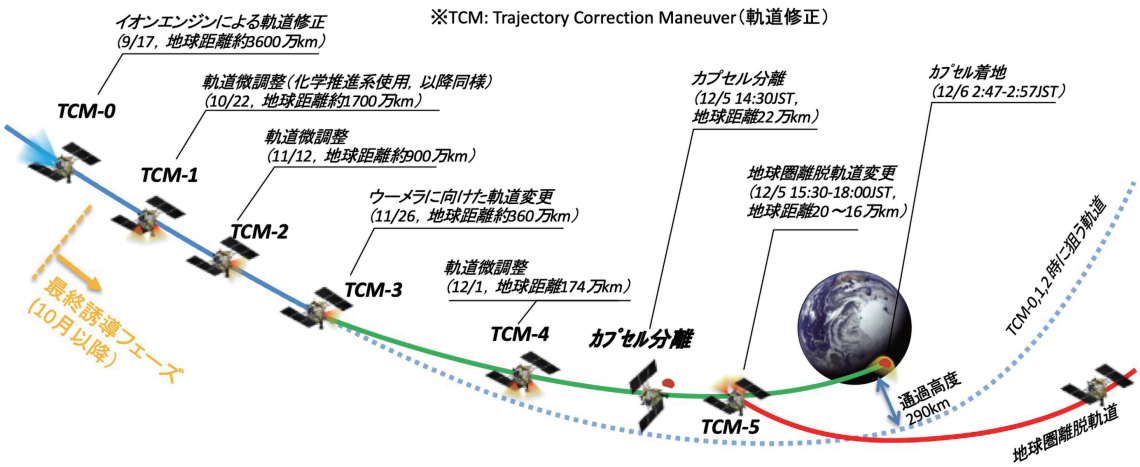

図1：地球帰還運用のシーケンス[1].「はやぶさ2」のイオンエンジン系，化学推進系は完璧に役目を果たした．

これまで「はやぶさ2」が順調なのはこれらの不具合のおかげである．先人の不具合はお宝である．

一方，初号機の地球帰還運用およびカプセル回収はノートラブルであった．これは裏を返すと，トラブルが内在していたとしても炙り出されていない可能性がある．回収計画の検討は慎重に行った．

3. 地球への帰還運用

リュウグウのサンプルをカプセルに収納した「はやぶさ2」は，2019年11月に小惑星を出発した．リュウグウへの往路は3年半かかったが，リュウグウと地球の相対位置の関係で復路は1年で地球に帰還した．この1年間は，探査機帰還運用とカプセル回収準備を同時並行しなければならない．探査機の確実な帰還のためには運用チームを削る訳にはいかないため，回収チームはJAXAのあちこちの部署の支援を仰いだ．

2020年9月に，復路のイオンエンジン運用を終了した．初号機の反省を踏まえた「はやぶさ2」のイオンエンジンは完璧に役目を果たした．その後，地球離脱まで化学推進系が用いられた．軌道修正（TCM）は段階的に実施した（図1）．地球に近づきつつ2回の微調整を行った後，重要なTCM-3を行った．それまでは地球を通過する軌道であったが，TCM-3にて探査機は地球に突入する軌道に修正した．以降は，離脱運用をしない限り地球に落下してしまう．TCM-4で微調整を行った後，12月5日にカプセルを分離した．軌道修正の機能をもっていないカプセルはそのままの軌道でオーストラリアのウーメラに向かって飛行した．そのままでは探査機もカプセルと一緒にオーストラリアに向かってしまうため，直ちにTCM-5を行った．スラスタの仕様上限の長時間噴射を3回行い，地球に落下する軌道から全力で離脱した．初号機で大きな不具合のあった化学推進系も，「はやぶさ2」では大きなトラブルなく最後の大仕事まで完遂した．再発防止にむけて両サブシステム関係者の払った努力に敬意を表したい．

4. 着地点選定と着地許可

「はやぶさ2」の軌道制約から，カプセルの着地点は南半球に限られている．着地点選定にはいくつか条件がある．広く（100km四方以上），平坦な陸地，植物が繁茂していないこと，人口が少ないこと，などが必要である．日本国内に着地させて回収できればどれほど楽で安心かと思うが，残念ながら日本には条件を満たす場所はない．

オーストラリアのウーメラ立入制限区域は，国防省が管理している実験用の広大なエリアであり（関東地方の約4倍！），オーストラリア国外からの飛翔体を受け入れる手続きも確立されている．初号機の実

績もあり，当初から着地点の候補であった．ただし，オーストラリアとしては他国からの飛翔体を受け入れることに当然慎重になる．AROLSO[1]と呼ばれる着地許可を得るために，回収チームは安全評価や環境への影響評価，緊急時の対応計画などを提出し，許可を求めた．万が一，探査機ごと地球に再突入した場合でも，探査機が大気圏突入時に全て溶融することも解析して提示した．結果的にこの審査に1年を要した．

前項のTCM-3運用とカプセル分離運用も，オーストラリアの許可を得た上で実施することがAROLSOの条件であった．そのための安全担当官が実際に管制室に詰めた．実施直前にプロジェクトチームから探査機や管制システムの健全性を提示し，安全担当官が確認し，両者が確認書に署名した上で実施された．TCM-3の許可が得られなければ，探査機は地球を素通りすることになる．探査機状態を示した際に各値の意味などをその場で質問を受ける時間的余裕はないため，何を提示して何をもって健全と判断するか，事前に丁寧に調整を行った．

5. 新型コロナウィルス対策

初号機の着陸許可が得られたのは地球帰還の約4ヶ月前，とかなり直前であった．はやぶさ2では，早めに取得できるように地球帰還の1年以上前の2019年8月に申請した．初号機の実績から，申請すべき内容が分かっており筆者は少し楽観視していた．しかし，申請後に新型コロナウィルスの問題が発生した．あっという間に世界中に広がり，2020年3月に全ての渡航者のオーストラリア入国は禁止された．急に事態が難しくなった．

コロナの問題はいつ終息するか分からない．また，探査機は健全であるが，いつ初号機のようなトラブルに見舞われるとも限らない．コロナ問題が収まるまで地球帰還を延期する案は，大きなリスクをはらむため直ちに排除した．当初の計画通り2020年12月に地球帰還／カプセル回収を行う方針を固め，オーストラリアにも表明した．カプセル回収計画もコロナ問題対策を含めて見直し，オーストラリア政府の理解が得られるよう調整した．

コロナ対策では極力不確定性を減らすことを目指した．もっとも大きな対策はカプセル回収チームの移動方法であった．当初計画では数週間前に銘々オーストラリアに移動する計画であった．しかし，3月に日豪間の定期便はほとんどが運休となり，渡航手段がいつ途絶えてもおかしくなかった．そこで，まずは定期便の状況に左右されないようチャーター機で移動する方針を決め，入札など必要な手続きを開始した．チャーター機による移動は不特定多数との接触が回避され，オーストラリアにコロナを持ち込まないことと，カプセル回収班内でクラスターを発生させないこと，日豪双方にとって有効であった．計73名のオーストラリアへの移動は先発チームと，1週間後に移動する後発チームに分けた．筆者は先発であったが，14名で貸し切りのB787はなかなか貴重な経験であった．

入国時に14日間所定の場所で待機することが水際対策の国際的なスタンダードとなった．国によって異なるが，オーストラリアの待機は徹底していた．入国審査と検疫検査の後，用意されていたバスに乗せられ，あっという間に指定のホテルの部屋に一人ずつ収納された．食事は3回とも紙袋にいれてドアの前に届けられ，毎日健康確認の電話と警官（たまに軍人！）による対面の在室確認があった．廊下の突き当たりには警官が座って目を光らせており，とても息抜きに廊下に出られる雰囲気ではなかった．完全な運動不足なので，毎食の甘いデザートは我慢することにした．2週間ずっと一部屋で一人となるのでメンタル状態も懸念された．そこで全員が参加するリモートミーティングを毎夕行い，回収計画の確認を行うとともにメンバー間で会話する機会を設けた．

この2週間で2回のPCR検査を受けた．オーストラリアで陽性が判明すると本人はもとより，判断によってはメンバー全員が足止めとなりうる．このリスクを回避するため，日本出国前にあらかじめPCR検査をうけて全員の陰性を確認して行った．検査後は日本でもホテルで隔離生活とし，空港への移動もチャーターバスを用いて感染対策を行った．ちなみに，オーストラリア政府のコロナ対策は経済維持よりも感染抑制を優先しているように見受けられる．世界的に拡がった第三波の抑制に成功し，2020年12月上旬

[1]AROLSO: Authorisation of Return of Overseas Launched Space Object

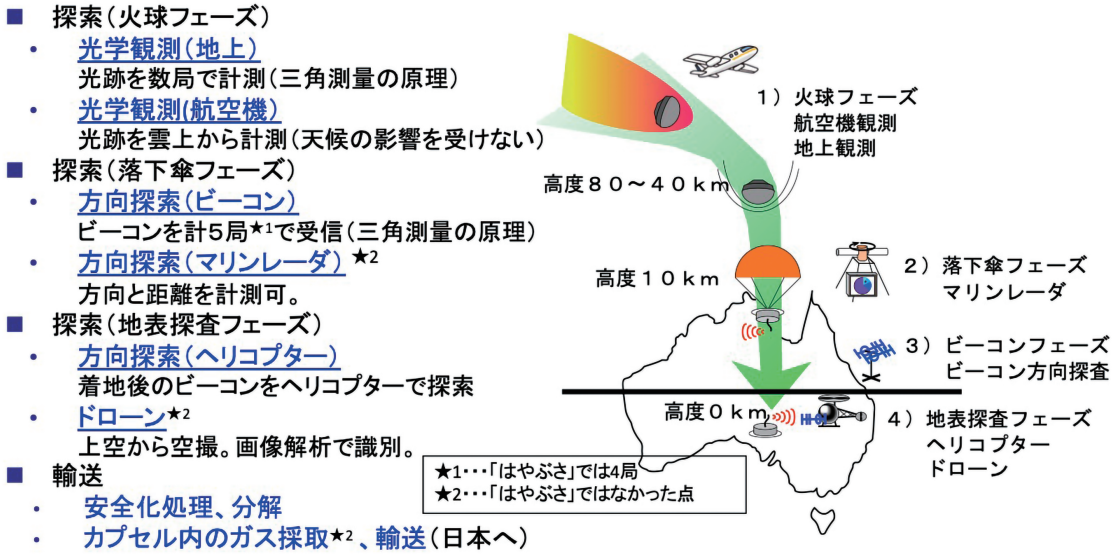

図2：カプセル回収計画概要[1].

の新規感染者数はオーストラリア全国でも10名前後であった[2]．回収チームで感染者が発生していたら，確実に「はやぶさ2が日本から持ち込んだ」という見方をされてしまう．オーストラリアで全員の陰性が確認できたときは，正直ほっとした．

出張期間の長さも大きな問題であった．カプセル回収作業自体は準備と撤収を合わせて3～4週間であった．しかしコロナの問題のため，日本帰国後の待機も含めるとトータルで約2ヶ月の出張になってしまった．とくに帰国時には日本国内の発生数の方が圧倒的に多く，「我々の方がクリーンなのに」と思いつつ帰国後の待機生活を送った．カプセル回収への参加を決めてから出張期間が増えたメンバーが大半で，所属組織や部署，家族にはご迷惑をかけてしまったが，支えて頂いたことに大変感謝する．

6. カプセル回収にむけて

「はやぶさ2」のカプセル回収計画は「1フェイル発生しても確実に回収できること」を基本方針とした[2]．初号機の計画をベースとしたが前述の通り，初号機のカプセル回収では内在するリスクが必ずしも洗い出されていない．検討の結果，ビーコン受信局を増やして5局とし，マリンレーダおよびドローンによる探索を追加した．シーケンスの各所で発生しうるトラブル／リスクを洗い出し，対処できる計画になっているか丁寧に確認した．

月の軌道の少し内側，地球からの距離約22万kmで分離されたカプセルはそのままの軌道で地球に再突入する．軌道伝播誤差は大きくないが，大気圏突入後のジェット気流や地上風で流されるため，カプセルの着地予想域は100×150kmの範囲となる．東京都が数個入る面積であり，闇雲に探しても到底見つからない．リュウグウのサンプルが納められているカプセル本体（インスツルメントモジュール）にはビーコン発信器が仕込まれており，ビーコンを頼りに探索する．着地予想域内にアンテナ受信局を5局配備し，ビーコンを受信した方位を集計する．インターネット網などない砂漠地帯であり，方位は衛星電話（口頭）で報告する．集まった方位から三角測量の原理で位置を特定するのである．非常に原始的であるが，その分インフラトラブルなどに強い確実な方法である．

ただしビーコン発信器は打ち上げ後，一度も動作確認ができていない．リュウグウ近傍で発信しても確認のしようがないため，カプセル分離から回収は一発勝負となる．そのためバックアップが必須であ

[2]フェイル＝fail．ここでは不具合や想定外事象の意．

る．火球観測から軌道を求める光学観測や，マリンレーダを用いた探索を並行して行った．NASAから航空機の提供を受け，曇天に備えて雲上からの光学観測も行った．更に，暴風雨などで地上からの観測が全滅する可能性もあるため，事後に探索できるドローンも準備した．実際，ウーメラは乾燥しているが場所によってはブッシュや池もある．着地点の状況によってはすぐにカプセルを発見できないケースもありうる．その場合には，数日かけてドローンとヘリコプターで探索する計画とした．あらためて，宇宙と異なる地上のオフノミナル要素の多さを痛感した．

カプセル回収計画の概要を図2に示す．回収チームの専門性はまちまちである．大気圏突入の宇宙機軌道解析や光学観測による軌道解析，電波観測のノウハウ，ドローンの飛行技術，さらにサンプルの科学分析や取扱の技術が加わる．探査機開発や運用，リモートセンシング技術とは大きく異なる．しかも回収作業は10年に数回しか行われず，人と技術の維持も課題である．今回は，初号機の経験者に加わってもらいつつ，今後のミッションのために若手にも加わってもらった．

回収作業の地上局は非常に広い範囲に点在することになる．各地上局には2〜3名が配備され，組立やオペレーションのために毎日宿泊施設から通った．未舗装のダートをオフロード仕様の四輪駆動車で，遠いチームだと片道150kmを“通勤”しなければならなかった．標識もない通勤には，オーストラリア国防省のスタッフにエスコートしてもらった．

今回のカプセル回収で大きな困難となったのが気温であった．初号機の回収は6月で南半球の冬であった．今回は12月であり夏に当たることは事前から想定していた．2018年，2019年の同じ時期に事前調査やリハーサルを行い気候の確認を行っていたのだが，運悪く今回地上局を設置したその2日間に熱波が到来した．初日の最高気温が40℃超，2日目は45℃超であった．湿度は数％と非常に乾いており，日本では想像できない気候である．砂漠の炎天下では汗も乾いてしまい，事前の自覚無く急に熱中症になりうる．当日朝に急いで連絡を回し，2日目の作業は午前のみとした．

もう一つの困難も荒天，とくに強風であった．初号機も「はやぶさ2」も満天の星空をカプセル火球が流れていく写真が有名であるが，はっきり言ってあの天候はたまたまである．砂漠地帯のため晴天ばかりと思われるかもしれないが，オーストラリアは普通に低気圧が通過する．今回，週に一度のペースで嵐に見舞われた．地球帰還の前夜も強風であった．運用か天候が一日ずれていたら，とぞっとしながら大きく揺れる木々を見ていた．また，前述の熱波を乗り越えてようやくアンテナを設置した直後もひどい嵐であった．夜になって急に風が強まり，あまりの風の音に夜中に二，三回目が覚めたほどであった．翌日にアンテナ1局が倒壊しているとの連絡を受けた．写真を見せてもらったが，脚部が破損し，八木アンテナの部分がぐにゃりと曲がっていた．焦ったが冷静を努め，1局減らして探索することを想定し始めた．しかし現品を見たアンテナチームはハンマーで叩いて修復し，数日後には見事に復帰した．

天候ばかりでなく，インフラに対する注意も必要であった．オーストラリア都市部はもちろん整っているが，一旦内部にはいると携帯電話も繋がらない．連絡手段の欠如は非常に危険であり，衛星電話が必須である．四輪駆動車もオフロード仕様であってもパンクもよく発生したため，必ず複数人や複数台で移動するルールとした．万が一の遭難に備えて，車には飲料水を必ず積んだ．また，夜になると“通勤路”にカンガルーやエミューが飛び出してくるため，必ず明るいうちに帰宿することとした．本誌読者には南極や海外僻地での経験者がいると思う．それに比べればまだまだではあるが，それでも日本での常識を切り替えて，想像力を働かせる必要があった．

7. いざ，カプセル回収

準備段階のトラブルやエピソードはまだまだあり書ききれないが，本番は報道の通り非常にスムースであった．報道だけでは現地メンバーの苦労や焦りが伝わっていないのが少しもどかしい．

前夜の嵐が収まって当日は晴れであった．カプセルの大気圏突入は現地時刻で明け方4時，カプセル分離はその12時間前であった．筆者は昼頃に本部に“出勤”し，カプセル分離をモニタした．探査機の健全性が確認され，オーストラリアの安全担当官から許可が得られた．事前調整の甲斐があり，当日は

スムーズにことが進んだと後で聞いた．カプセル分離のタイムラインコマンドが探査機にアップロードされ，気がつけば途切れがちなスピーカから分離成功を喜ぶ拍手と喝采が聞こえた．少しの喝采の後，TCM-5が実施され，探査機は地球の脇を抜ける軌道に入った．超ロングシュートが放たれた．キーパー正面に飛び込んでくることを強く願った．

ウーメラでは夕方に各アンテナ局や観測拠点への人員配置が完了した．機器の動作チェックやキャリブレーションを実施した後，各自仮眠をとった．各観測拠点にはベッドを備えたトレーラーハウスを用意していたが，本部には仮眠室などなかった．何人かはちゃっかり宿から枕を持参し，床の上で仮眠をとっていた．

午前2時から作業を再開した．光学観測の航空機も離陸し，各アンテナ局も準備を完了して午前4時を迎えた．本部から約200km離れた観測点から「カプセル発光を確認！」，そして数分後には「ビーコン受信！」の報をうけた．無事パラシュートが開傘し，ビーコン発信器も機能していることを表していた．第一の安堵であった．アンテナ局の受信結果が本部のスクリーンに映し出された．5局の方位は綺麗に一点で交わっていた．ハンマーで叩いて直したアンテナ局も健全であった．事前のコンティンジェンシーケース訓練では，2局と3局が別々の交点を示したらどうするかなど悩んだが杞憂となった．カプセルは風によって東へ流されていったが，事前の予報通りであった．約20分間の追尾の後，高度が低くなって「ビーコン消感」した．そこから更に風に流されることを考慮して，着地推定点を特定した．別途計測していたマリンレーダや，オーストラリア国防省のC-バンドレーダの結果とも非常によく整合していたのも安堵であった．

ビーコンで推定された着地点は数kmの誤差がある．この後は，探索ヘリコプターに搭載したアンテナでビーコン信号を受けながら探した．ヘリコプターは5時過ぎに現場上空に到着した．ビーコンは受信していたが，日の出前である．サーチライトではなかなか目視確認ができなかった．ヘリコプターの燃料も怪しくなってきた6時過ぎ，ようやく低木に引っかかっているパラシュートとインスツルメントモジュールが確認された．大きな安堵であった．報告された緯度経度にもう一台の輸送用ヘリコプターが向かい，9時半頃には本部に運び込まれた．

高度10kmで分離された2つのヒートシールドにはパラシュートがついていないため，別の場所に着地する．ビーコンも搭載していないため，アンテナでは探せない．しかしドローンが威力を発揮した．想定されたエリアを連続撮像し，自作の識別ソフトがあっという間に見つけ出した．ドローン担当者からは「間違いないから！裏表も言ってあげようか」と自信たっぷりの衛星電話を受けた．もう一つのヒートシールドは，ヘリコプターのパイロットらが飛行中に見つけていた．念のため風上から風下にむけた飛行していたのが功を奏し，そのルート上で見つかった．

やきもきしつつもあっという間で，気づけば夕方前，15時半にはカプセルの全てのパーツを回収し本部に届いていた．この日最後の安堵であった．数日かけての探索も覚悟していたが，結果的には着地して約11時間であった．22万kmのロングシュートを無事キャッチした．

以降はカプセル/サンプルチームの出番であった．インスツルメントモジュールからサンプルコンテナを取り出し，新鮮なうちにガス採取が行われた．分析は順調に行われたが，結果の解釈にサンプルチームは慎重であった．サンプル起因のガスが検出されればサンプルがちゃんと採取されている証拠になったが，この時点ではコンタミ混入も否定しきれなかった．タッチダウン時の映像からサンプルが採取されていることに疑いは無かったが，ウーメラで確証を得るには至らず持ち越しとなった．

カプセルが地球大気に突入してから100時間以内にサンプルをJAXA相模原キャンパス地球外試料キュレーションセンターに運び込むことが要望されていた．そこで，カプセルは回収後直ちに日本に輸送する計画としていた．カプセルを積み込んだチャーター機は12月8日深夜0時(現地時刻)にウーメラ空港から日本に向けて離陸した．疲れも溜まっていたが多くの関係者が見送った．ウーメラでのとりまとめ役としては一区切りであり，大きく安堵した瞬間であった．カプセルは同日11時半(日本時刻)，相模原に運び込まれた．大気圏突入から57時間後であり，目標を大きく上回る短時間で相模原への輸送が完了した．しかも開封したところ，大粒のサンプルが5.4g確認さ

図3：着地点で記念写真[3]. インスツルメントモジュールのあった場所には日豪の国旗を立てた.

れた. 全てが順調であった. 偶然の要素もあり, 次また同じ結果が得られることが必然ではないが, 今回の結果を大いに喜びたい.

ウーメラに残ったメンバーは数日かけて各機材の撤収, 梱包を行った. 各アンテナ局に散っていたメンバーも本部に集まってきた. 全メンバーとは約10日ぶりの再会であった. 日本に帰国する前, メンバー数十人でインスツルメントモジュールの着地点を訪れた. 途中からは車でも近づけないため, 最後の1km弱は徒歩であった. 初号機のひらけた着地点とは様子が異なって木が茂っており, 間をよけながら進んでたどり着いた. パラシュートが引っかかっていた木の下をみんなで指さし,「ここに着地した!」と記念写真を撮った(図3).

8. おわりに

「はやぶさ2」の一部メンバーでは「映画をつくらせない」をモットーとしていた. 初号機は数々のトラブルと, それをリカバーした関係者の不屈の努力と技術がドラマとなって全国展開の映画が3本作られた. ありがたい話であるが, エンジニアとしては, 起伏なく完璧にミッションをこなすことが目標である. 映画に向かない内容であることを誇りに思いたい. 随所で幸運にも支えられたが, 打上げからカプセル回収まで大過なく完遂でき, このモットーを達成できたプロジェクトチームを自画自賛したい.

リュウグウのサンプルの分析がまさにこれから行われる. 探査機は次の小惑星に向かい, 一方で次のサンプルリターンミッションが立ち上がりつつある. サンプルリターンミッションではリモートセンシングデータに加えて, 回収した物質からも知見が得られる. 惑星科学の多角性が一層増すことは大きな進歩である. バトンは物質科学に渡され, 別なバトンは次の探査に渡される. 本シリーズタイトル通り, 転生を繰り返す火の鳥のようなバトンリレーが科学の発展に繋がるであろう. まずは, 今回のカプセル回収のLessons Learnedを次のミッションに引き渡すことで, 回収班のバトンの責任を果たしたい.

参考文献

[1]「はやぶさ2」記者説明会 (2020/12/4) 説明資料より (本稿に合わせて微修正)
[2] オーストラリア保健省ホームページより (https://www.health.gov.au/news/health-alerts/novel-coronavirus-2019-ncov-health-alert/coronavirus-covid-19-current-situation-and-case-numbers)
[3] はやぶさ2ツイッターより (https://twitter.com/haya2_jaxa)

《目次へ

遊星人の海外研究記 その5 ～オランダ･ライデン赴任記～

野津 翔太[1]

1. はじめに

私は博士学位取得直後の2019年4月1日から2020年2月29日まで，日本学術振興会 海外特別研究員としてオランダのライデン大学 ライデン天文台に赴任し，受入教員のEwine F. van Dishoeck教授の元で原始惑星系円盤の化学進化に関する研究活動を行いました．1年弱の赴任となり，今思うとあっという間(特に後半)と言った印象ですが，研究面･生活面共に，濃密で貴重な経験が出来ました．本記事では，私がオランダ赴任に至るまでの経緯と，オランダでの研究生活・日常生活の概要やそこで感じた思いなどを紹介します．

2. オランダ赴任を希望するきっかけ

私自身は実のところ，幼い頃から海外に住みたいといった強い思いは特に持っていませんでした．また学部卒業に至るまで海外渡航経験自体も数回しかなかったので，海外での研究生活を具体的にイメージした事もなかったと記憶しています．

私がオランダ赴任に至る最初のきっかけは，京都大学理学部の卒業課題研究で野村英子氏(当時京都大学助教．その後東京工業大学准教授を経て，現在国立天文台教授)の指導を受け，原始惑星系円盤の化学進化に関する研究を開始したことに遡ります．野村氏にはその後東工大に移られた後も含め，大学院博士課程修了に至るまでの5年半に渡り実質的な指導教員として研究の指導をして頂き，海外での学会発表や海外短期滞在なども含め，様々な挑戦の機会を与えて頂きました．

話を戻すと，学部卒業式直後の2014年3月末に，野村氏と共にオランダ･ライデン大学を数日間訪問しました．この際はその後現在に至るまで共同研究を行わせて頂いているCatherine Walsh氏(当時ライデン大学所属．現在は英国・リーズ大学に所属)と初めての議論を行う事が目的でした．この時は後にオランダに住む事になるとは全く考えていなかった一方，初めての欧州への旅という事もあり，若干の心細さと共に，物凄く遠くに来た! という印象を持ったことを覚えています．

その後，博士課程入学直後の2016年春に，ライデン郊外のESA/ESTEC (欧州宇宙技術研究センター)で1週間に渡り開催された研究会に参加しました．更に2016年夏にはWalsh氏らとの共同研究議論のため1ヶ月弱，ライデン大学に滞在しました．この滞在中には，後に受入教員となるvan Dishoeck教授と私自身のスノーラインに関する研究について深く議論をさせて頂いたほか，研究グループでセミナー発表もさせて頂きました．その中で，博士課程修了後の進路として海外，特にライデン大学で研究を行いたいという具体的な思いが湧いてきました．また，1ヶ月弱の滞在ながらライデン大学を介してラ

1.理化学研究所 開拓研究本部 坂井星･惑星形成研究室 基礎科学特別研究員
shota.notsu@riken.jp

イデン市内の学生向けアパートの一室を借り，自転車に乗っての通学やスーパーや商店での買い物，休日の街中散策といった海外生活をお試し体験したことで，海外での日常生活に対する自分の中での心理的ハードルが大きく下がったことも重要な経験となりました．また，この時オランダ及びライデンという街に対して自分の中である程度土地勘が出来た事で，数年後に長期赴任をする事になった際にも大きな不安を抱える事なく，比較的スムーズに適応して行く事が出来たと感じています．

3. 海外学振への応募と渡航準備

2018年1月初めにvan Dishoeck教授に連絡を取り，正式に海外学振として赴任を希望する旨を伝え快諾を頂いたのち，応募書類作成を進め，博士課程3年になった直後の2018年4月に日本学術振興会 海外特別研究員 (海外学振)の応募書類を提出しました．その後書類審査を経て，2018年8月に学振から内定通知を頂きました．一方で，並行して応募していた理化学研究所 基礎科学特別研究員の方からも直後に内定通知を頂いた事で，進路選択に大変悩みました．最終的には，基礎科学特別研究員への着任を2019年度内であれば遅らせる事が可能であったため，双方の受入教員の先生方とも相談させて頂き，2019年4月から1年弱，海外学振研究員としてオランダ赴任を行うことに決めました．

渡航に向けての事務手続きなどは，渡航を決めた後の2018年12月にライデン大学の事務担当の方と連絡を取るところから開始しました．ライデン大学の場合，毎年オランダ国外から多数の研究者・大学院生を受け入れているということで，国外からの赴任者の手続きをサポートしてくださる部署の職員の皆さま(Service Center International Staff)がおられ，滞在許可や住民登録の申請手続きから保険加入・銀行口座開設の斡旋，アパート探しまで，様々な面を英語で手厚くサポートして頂きました．なお後に述べる様にオランダではほとんどの人が英語を話せるという背景もあり，大学内外を問わず英語で各種手続きを進める事ができました．また，これらの手続きに関して，過去にvan Dishoeck教授の元で海外学振研究員をされていた古家健次氏と，当時オランダ宇宙研究所(SRON)に所属されていた川島由依氏にも様々な情報提供やアドバイスを頂きました．

滞在許可について，私の場合は上述の大学事務を介しオランダ政府の移民局(IND)に対してオンラインで書類申請を行い日本にいるうちに書類審査を通過した後，現地到着後に移民局を実際に訪問し顔写真撮影と指紋採取を行い，後日正式な滞在許可証が発行されるという流れでした．因みにライデンは比較的小さな街という事で移民局のオフィスがないので，電車で15分ほどのハーグ(オランダ語ではDen Hagg)まで行きました．周辺国での手続きの事例と比べると，日本国内でオランダ大使館・領事館に訪問する必要がなかったほか，移民局などへの訪問は基本的に時間指定の事前予約制となっている事もあり，比較的スムーズに進んだ印象です．因みに個人的な印象ですが，オランダは役所や銀行の手続きのみならず，博物館の特別展から人気のレストランも含め事前予約が必要な場所が多く，時間を比較的きっちり守ると共になるべく行列を作らない様に工夫がされていると感じました．

住民登録については事前に大学事務を介して日時を予約した上で，オランダ到着から数日後にライデン市の窓口に伺い，手続きと住民登録番号(BSN，銀行口座開設などあらゆる手続きに必要)の発行を行いました．この登録の際，オランダ特有の手続きとして，アポスティーユ認証というものを取得した日本の戸籍謄本とその法定翻訳(英語またはオランダ語)が必要でした．そのため，2019年2月頃に予め本籍地から戸籍謄本を入手し，次に日本の外務省の窓口(東京または大阪)に申請し戸籍謄本のアポスティーユ認証を取得した後，日本国内におられるオランダの法廷に登録された翻訳家の方に連絡を取り，オランダ語での法定翻訳書類を作成してもらいました．因みにこの法定翻訳は現地到着後にハーグの在オランダ日本大使館で作成してもらえる英文翻訳でも良く，実際そちらを選択する方も多いそうです．しかしその場合，ハーグのオランダ外務省でリーガライゼーションという手続きをさらにしてもらう必要があるなどハーグに何度か通う必要があったほか，法定翻訳書類ができるまで住民登録ができずBSNも発行されず，その結果銀行口座開設なども含めその他の手続きが大幅に遅れるという側面もあったので，

私の場合は事前に日本国内での作成を選びました.

因みにオランダの正式な首都はアムステルダムで, 多くの企業が最大都市でもあるアムステルダムや第2都市で大きな港湾があるロッテルダムの周辺に拠点を構える一方で, 歴史的な経緯から国会や政府機関, 王宮, 各国大使館, 国際機関(国際司法裁判所など)は全て第3都市であるハーグにあります. そのため憲法で定義された正式な首都と事実上の首都が異なるという, 少し独特な状況になっているそうです.

アパートの部屋探しについては, 2019年1月頃から大学事務を通じ大学保有の物件や民間業者の持つ物件のwaiting listに複数登録した上で待ちましたが良い物件が見つからず, 最終的には大学のオフィスに直接オファーが来ていた家具付きの物件を紹介して頂き, オーナーさんと直接メールのやり取りをした上で, 渡航3週間程前に決まりました. オランダは近年需要過多でなかなか良い物件が見つからないのが普通だそうで, 現地に到着後にホテルやB&Bなどに短期滞在を行いながら物件探しを行うことも一般的な様です. 家の一部(屋根裏部屋や地階など)を貸しているという物件も多い様で, 私が住んでいたのもオーナーさん一家が住む家の地上階の部屋でした. とはいえ基本的に居住スペースは完全に分離されており, 独立した台所やトイレ･シャワールームなどは勿論家具一式も全て完備されていたほか, 光熱費やネット代も家賃に含まれている契約でしたので, 最小限の荷物・手続きで住む事ができました. 因みに私は大学を介してのオファーという事もあり, 内見なしで物件を決めてしまいましたが, 一部の民間の情報サイトなどに出ている安すぎる物件などの中には詐欺の場合もあると聞きますので, 以前の遊星人海外研究記でも執筆者の方々が述べられている通り, 基本的には現地での内見を含めた十分な検討をお勧めします.

4. オランダでの日常生活と研究生活

私が赴任していたライデンは, オランダ中部にある人口12万人ほどの小さい街です. 首都アムステルダムやハーグ, ロッテルダム, ユトレヒトといった大都市を結ぶ幹線上に位置し, オランダの玄関口であるアムステルダム･スキポール空港(日本からの直行便もあります)からは電車や車で15分程度とかなり近い距離にあるなど, 国内外へのアクセスがよく便利な街です. 中世から栄えた歴史の長い街ということで, 数百年以上の歴史を持つ建物や大きな風車に加え, 多数の運河が張り巡らされているなど, オランダらしい街並みを楽しむ事ができます. 私が住んでいた家の目の前にも運河があり, 時折住民の皆さんのボートが走っていました. 一方で郊外には農地や牧草地が広がっていて, 空港までのわずかな距離の電車内からも牛や羊, 馬の放牧をあちこちで見ることができました. 近くにはチューリップで有名な世界最大の花の公園・キューケンホフ公園もあり, 春はとても綺麗です. また江戸時代に日本を訪れたシーボルトが住んでいた家が現存し, シーボルトが集めた日本コレクションを展示する日本博物館になっているほか, 年に1回街をあげて日本祭が開催され, さらに街の中心部にあるライデン大学の本部の敷地内にシーボルトを記念して作られた日本庭園があるなど, 日本との結びつきを街のあちこちで感じることができます.

図1：ライデン大学 ライデン天文台. 市街地から自転車で15分ぐらいの郊外にあります.

また, オランダはレンブラント(ライデン出身. 生誕の地が公園になっています)やフェルメール, ゴッホら著名な芸術家たちの出身国としても知られ, 国内に多数の名画があるほか, 各街に大小様々な美術館や博物館があります. (ライデンだけでも10を超える施設があるそうです.) 私も休日を利用して博物館･

図2：ライデン市内中心部の風景．風車や運河のほか，日本庭園もあります．また，街の所々に世界中の有名な詩などが飾られていて，菅原道真や松尾芭蕉のものもありました．

美術館を色々と訪問しましたが，オランダ国内のあらゆる施設に1年間入り放題の共通カードが安価で販売されているほか，様々な言語での解説冊子が用意されていたりと，市民や観光客が気軽に芸術や科学に触れる事ができる環境が整っているのも印象的でした．

ライデン大学は1575年に創立されたオランダで最も古い大学で，7つの学部からなり，街の中心部から郊外，更には近くのハーグ(法学部)に至るまで様々な場所に大学の施設が点在しています．その中でライデン天文台は理学部に付属する形で設置されていて，1633年に創立されたかなり歴史の長い大学天文台になります．遠方銀河から惑星まで天文学に関する幅広い研究が行われていて，40人以上の教員，50人ほどのポスドク，百数十人の大学院生がいる，かなり規模の大きな組織です．欧米各国のみならず中南米やアジアも含め世界各国の出身者がいて，非常に国際色豊かな研究機関なのも印象的でした．そのため，談話会やセミナーから日常の議論，事務手続きまで基本的に全て英語が使われます．

因みにオランダは90%以上の国民が英語を話せるという統計もある様で，大学や観光スポットのみならず，役所や駅，スーパー，レストランなどでもほぼ完全に英語が通じます．そのため逆にオランダ語に関しては，日々の生活で不自由する機会がほとんどないので，自分で意識的に勉強しない限り身に付かないといった側面もあります．なおオランダ出身の大学院生に聞いたところ，オランダ語を母国語として使う人々は世界的に見ても決して多くないため (オランダ，ベルギー北部，南米スリナムなどに限られる)，小さい頃から映画やＴＶ番組もオランダ語字幕付きの英語版で見るのがごく普通のことだそうで，日常生活の中で英語が自然と身についていくといった側面もある様です．

オランダは世界有数のコーヒー消費国として知られています．大学内の建物の各フロアにも大型のコーヒーマシンがあり，大学の関係者はいつでも無料で飲む事ができました．そのため，昼食の後は教員から大学院生まで様々な人がコーヒーマシンの前に集まり，そこでコーヒー片手に議論や雑談を楽しむといった流れができていました．また，オランダでは夕食は家で家族と楽しむのが一般的という事もあり，皆でディナーに行くのはゲストが来た時やイベント時など特別な時に限られます．一方で毎週金曜日の夕方には談話室でBorrelと呼ばれる1時間ほどの軽い飲み会があり，ビールの小瓶やおつまみ(チーズやハム，ナッツ，ポテトチップスなど)を片手に議論や会話を楽しむなど，フランクな雰囲気の中でお互いに交流を深める事ができました．

オランダの食生活の特徴に少し触れておくと，チーズや魚介類を使うことが多いほか，旧植民地インドネシアの料理も人気があります．また，特に朝食と昼食はごく簡単な食事で短時間で済ませる事が一般的です．そのため，手軽に食べられるスナックフードが発達しています．その中でもフリット(フライドポテト)，キベリング(鱈の唐揚げ)，ハーリング(生ニシンの塩漬け)，クロケット(クリームコロッケ)，ルンピア(インドネシア風春巻き)，パンネクック(オランダ風パンケーキ)，ストループワッフルなどが有名で，私もかなりお世話になりました．特にクロケットについては人気が高く，街中や駅に自動販売機があるほか，某ハンバーガーチェーン店ではクロケットを挟んだバーガーが人気メニューだったりします．

研究に話題を移すと，私は大学院生の頃から，主にH_2Oなどの分子に着目し，原始惑星系円盤の化学進化に関して，理論計算やＡＬＭＡ望遠鏡などを用いた観測を通じ研究を行ってきました．ライデン大

図3: キューケンホフ公園のチューリップ畑.

図4: 首都アムステルダムの風景. 上から中央駅・国立美術館・離宮. アムステルダム中央駅は東京駅のモチーフになったとの説もあります.

学赴任後はこれまでのH_2Oスノーラインに関連した研究[1] を更に拡張させると共に，van Dishoeck教授や研究グループのメンバーなどとの新たな共同研究として，より早期の原始星段階から円盤に至るまでの化学進化過程や，円盤内で形成されるガス惑星の化学組成に関する研究も進めています.

私が所属していたvan Dishoeck教授のグループはポスドクと博士課程の大学院生を合わせ15人程の比較的大きなグループで，分子雲から原始惑星系円盤，系外惑星に至る物理・化学進化に関する様々なテーマに関して，それぞれ理論計算やALMA望遠鏡などでの観測の手法を用いて取り組んでいます. 研究グループ全体で一つのテーマに取り組むというよりは，一人一人がvan Dishoeck教授とグループ内外の共同研究者を交えながら，自分の研究テーマを進めていく形式です. また修士課程と博士課程のシステムは日本と比べかなり明確に分けられていて，研究グループには修士課程の院生は所属していない一方，博士課程(期間は最低4年間)の院生は公募を経て採用され給料も支給されていて，独立した一人の研究者として扱われる側面がより強い様にも感じました. また日本と異なり，修士課程と博士課程で国内外の異なる大学に進学したり，研究テーマを大幅に変えたりすることもごく普通に行われる様です.

また，研究グループでは週に1回グループミーティングがあり，毎回long reportとshort reportをそれぞれ一人ずつが担当します. この時は発表スライドを用いることは禁止で，研究の要点や重要な図だけを載せた2ページないしは1ページのレジュメだけを使って話題を提供し，コーヒーを片手にメンバー全員で議論を行う形式でした. 初めは少し驚きましたが，発表する中で最も伝えたい事を常に意識する癖がつくほか，参加者側も一方的に聞くのではなく議論でアイディアを出し合う中でお互いの研究に対し理解が深まるなど，得るものの多い時間でした. また，同じフロアには星間空間での化学反応の実験に取り組むグループや，系外惑星の観測に取り組むグループもあり，隔週での合同セミナーや日々の研究議論で交流があるなど，色々と刺激が得られる環境でもありました. 建物の上の階にはALMA望遠鏡のオランダオフィスがあり，ALMA望遠鏡での観測に関する研究会やミーティングなども頻繁に行われていました.

オランダは日本の九州と同程度の大きさしかない事もあって，周辺のベルギーやドイツ，フランス，英国をはじめとした欧州各国に直通の電車や航空機を

[1] https://www.wakusei.jp/book/pp/2018/2018-3/2018-3-120.pdf

使って数時間以内でアクセスする事ができます．またEUやシェンゲン協定の枠組みなどもあって結びつきが強い事もあり，国境を超えての共同研究や研究会なども盛んに行われています．私自身もオランダにいる間に，研究会発表やセミナー発表などの機会で何度か周辺諸国を訪問しましたが，英国を除くと出入国審査もなく，国内出張とほぼ同様の感覚で参加できるのが印象的でした．また，人生で初めて電車で国境を越えるという経験もしましたが，特に車内アナウンスもなく景色もすぐには変わらないので気付かぬうちにあっさりと国境を超えており，やや拍子抜けをしたのも印象に残っています．

5. 博士論文公聴会に聴衆として参加

ライデン大学において，研究グループの院生の博士論文公聴会 (PhD defence)に聴衆として参加する機会が数回ありました．一つの儀礼的なイベントを兼ねている事もあってか，日本とはかなり異なる側面が数多くあり，こちらもなかなか印象的な経験でした．折角の機会ですので，その様子を少し紹介させて頂きます．

まず博士学位論文の提出後に国内外の審査員による審査が1-2ヶ月程度の時間をかけて行われ，その審査をパスした段階で公聴会の日程が決められます．因みに博士学位論文の提出には，査読論文4本程度(うち1本は投稿前でも良い)が最低必要とされている様です．公聴会は大学本部にあるアカデミーヘボウと呼ばれる建物(15世紀に元々修道院として建てられた，ライデン最古の建物だそうです)の一室にて公開で行われ，研究グループのメンバーや大学内外の友人，更には両親や兄弟姉妹などの家族も招待されます．また審査される学生は友人や後輩から2人をエスコート役として指名し，審査中常に両隣に座ってもらいます．審査される学生は正装で，審査員の教授陣は所属大学ごとにデザインが決まったアカデミックガウンを着用しています．公聴会の中では日本の様なプレゼン資料を使っての発表は一切なく，審査員と学生の間の口頭での質疑応答のみが行われる形式なのも驚きでした．開始から45分が経過すると伝統的な衣装を着た儀官と呼ばれる人が部屋に突然入ってきて，杖で大きな音を鳴らし審査をその時点で強制的に終了させ，審査員は別室での審査に向かいます．その数分後に審査員が学位記を持って公聴会の部屋に戻ってきて，そのまま講評と博士学位授与式が行われます．授与式の後には下の階にドリンクやおつまみが用意されていて，記念撮影や軽い懇談が行われます．更に夜には近くのお店で記念パーティーが盛大に行われます．

図5：博士論文公聴会の開始直前に撮影した写真．部屋には歴代のライデン大学学長などの肖像画が飾られています．

ちなみに博士学位論文は審査をパスした段階で製本され，大量に印刷した上で研究グループのメンバーや国内外の共同研究者，家族，その他お世話になった人に公聴会の前に配られます．本文は英語で書かれていますが，アブストラクトなどは英語･オランダ語･そして母国語 (オランダ語または英語が母国語ではない場合) と複数の言語で書く形式です．またそれぞれの研究内容に関連した，カラフルなデザインの表紙がついているのも特徴です．

6. まとめ

2020年2月29日，1年弱のオランダ赴任を終え日本に帰国し，3月1日から理化学研究所に勤務しています．帰国から1ヶ月足らずで日本やオランダを含む全世界で新型コロナウイルスの感染が急拡大し，現在に至るまでその影響が続いています．そのため世界各国で以前とは研究生活・日常生活の状況が大きく変わってしまいました．私自身帰国直後に襲った急激な変化に戸惑いを覚えましたが，その後オンライン形式での共同研究者との議論や研究会などに

も積極的に参加する中で，研究スタイルの変化にも徐々に適応してきた所です．一方で学会や研究会のための海外渡航や共同研究のための短期滞在などが困難な状況が続く事で，長期的に研究の幅が狭まる可能性への不安が残ると共に，後輩の皆さんが将来の海外赴任を考えるきっかけや，海外での研究に対するモチベーションが減っていく状況も心配しています．

今回の研究記はコロナ禍前の状況に基づいているため，赴任手続きなどは内容に変更が生じている可能性が高いほか，必ずしも最新の海外研究生活･日常の現状を反映した記事にはなっていないかもしれません．ですが今回の研究記が一つの例として，将来の海外での研究生活に興味を持つ後輩の皆さんにとって少しでも参考になれば幸いです．なお紙面の都合上本記事に書いていない経験談がまだまだありますので，興味を持たれた方はぜひ直接聞いてみてください．最後にこの場をお借りして，Ewine F. van Dishoeck教授や野村英子教授をはじめ，研究生活を進める中でお世話になった全ての皆様に感謝致します．また，今回の記事の執筆をお声がけしてくださった，編集委員の黒澤耕介氏にも感謝致します．

今後ともどうぞよろしくお願いします．

《目次へ

2020年度日本惑星科学会秋季講演会開催報告

出村 裕英[1], 平田 成[1], 大竹 真紀子[1], 小川 佳子[1], 本田 親寿[1], 北里 宏平[1], 奥平 恭子[1], 嵩 由芙子[1]

1. 概要

2020年日本惑星科学会秋季講演会(2020年11月12日～14日開催)は，COVID-19対応のためオンライン開催かつパラレルセッション構成という初めて尽くしの学会となった．本稿では，今後に向けた記録として，経緯と実施内容および運営体制，秋季講演会後のアンケートの回答結果とその分析について，2部構成で例年よりも詳細に会津大LOCより報告する．

2. 経緯と実施内容および運営体制

2020年日本惑星科学会秋季講演会は，当初は例年通り対面のシングルセッションで9月23日から25日の3日間の会期で開催する予定で会場となる大学講堂の確保やポスターボード手配など準備を進めていた．しかし，COVID-19感染拡大に伴ってJpGUをはじめとした他の学術講演会が軒並みオンラインでの開催に変更し，また大学施設利用も制限されるなどしたため，4月に入った時点で行事部会ならびに学会運営委員会と相談のうえでオンライン開催に舵を切ることになった．開催時期もJpGUが7月に延期になったことも踏まえてそこからある程度の期間をおけるように，またJpGUのオンライン開催の実態も踏まえて実施形態をデザインできるよう，11月12日から14日に延期した．また，一般講演会企画は中止した．オンライン形式での実験的な開催という位置付けにしたこともあり，今年に限り参加費は徴収しないこととした．参加対象は学会員および非会員登録した者とし，学会ウェブサイトを通じて接続情報などを周知することにした．また，ポスター発表セッションに代わる擬似ポスターセッションを設けることとした(詳細は後述する)．これらの開催方針を8月4日にオンラインで実施された総会で報告し，9月4日から9月23日までの期間で発表申し込みを受け付けた(当初は9月17日までとしていたが1週間延長した)．最終的に口頭発表118件，最終週発表者選考10件，最優秀研究者賞受賞講演1件，そして擬似ポスター発表48件，合計177件の発表申し込みがあった．

セッション構成は，Zoomを用いた口頭発表セッションと，発表者が用意した媒体でポスター相当の議論を行う擬似ポスターセッションの二種類とした．また，Zoom接続練習会場，SpatialChatを用いた自由議論の会場(お茶飲み場)も用意したほか，各発表に関する文字ベースの議論をいつでも行えるよう，Slackのワークスペースを開設した．

口頭発表は初めてパラレルセッションで実施された．これは，口頭発表希望での発表申し込みが多く，さらにシングルセッションでプログラム編成できなかった場合にはパラレルセッションでも口頭発表としたい，とする申し込みが大半だったことからのLOC判断であった．最優秀発表者賞選考セッション，総会，最優秀研究者賞受賞講演，ポスター発表フラッシュトークの開催時間を除いて，14セッションが2会場のパラレルで開催された．オンラインで顔の見えにくい中でも交代をスムーズに行えるよう，また急なキャンセルや発表順の変更などにも対応しやすく，また参加者側にもわかりやすくなるよう，講演と質疑応答および交代時間をまとめて1人あたり15分を割り当て，発表開始時刻が毎正時，15分，30分，

1.会津大学
demura@u-aizu.ac.jp

45分という1時間あたり4回に固定されるようにした．オンライン会議や授業などでZoomの利用が一般化し，慣れた人が多かったためか，目立ったトラブルもなく順調に進行した．接続練習会場を使う方もほとんどなかった．口頭発表における各セッションの同時接続数は表1の通りで，パラレルセッションの一方に偏ることもなく，綺麗に分かれていた様子である．なお，後半のアンケート回答結果のパートで触れる通り，この接続数は1人で複数デバイスを使って同時にパラレルセッションに接続した場合も含んでいる．また調査はしていないが，1接続で複数人が聴講していた場合もあったかもしれない．

表1: セッション別接続数の記録．

11 月 12 日					合計
AM 9:00-11:45	機器開発・将来計画	102	衝突現象	70	172
PM1 12:30-15:00	最優秀発表賞選考（オーラル）	164	N/A		164
PM2 15:15-16:45	原始惑星系円盤	115	アーカイブサイエンス	47	162
PM3 17:00-18:00	擬似ポスター（フラッシュトーク）	117	N/A		117
11 月 13 日					
AM 9:00-11:45	月	61	小惑星	117	178
PM1 12:30-15:00	惑星大気・表層環境	80	小惑星・アストロバイオロジー	105	185
PM2 15:15-16:45	原始惑星系円盤	84	氷天体	84	168
PM3 17:00-18:00	擬似ポスター（フラッシュトーク）	105	N/A		105
11 月 14 日					
AM 9:00-11:45	惑星・衛星形成	91	隕石・彗星	74	165
PM1 12:30-13:30	日本惑星科学会総会（特別会場）	123	N/A		123
13:45-15:00	最優秀研究者賞受賞講演	122	N/A		122
PM2 15:15-16:45	火星・火星衛星	93	系外惑星	69	162

擬似ポスターセッションは，通常のポスターセッションに相当する発表の場として，JpGUでのe-Posterなどの状況を参考にしつつ，より簡単に既存のツールなどの組み合わせで実現可能な形態の発表形式としてデザインされた．発表者は自身の発表資料（従来のポスターに相当する）をGoogle DriveやDropBoxなどのオンラインストレージや，SlideShareなどのプレゼンテーション共有サービスを通じて参加者に提示し，ZoomやSlackなどの媒体を通じて議論する．資料の提示場所や議論場所への接続情報は，Google Form経由で登録され，html形式のプログラムに掲載されるようにした．また，1日目と2日目の口頭発表セッションの最後に1件2分で発表内容の紹介を行うフラッシュトークの機会を設けた．後半のアンケート回答結果のパートで触れる通り，閲覧数や議論の件数，フラッシュトークのあり方などに課題は残ったものの，新しい発表形態の導入と提示は行えたものと考えている．また，擬似ポスターセッションの発表情報掲載のために導入されたhtml版のプログラムは，口頭発表についても希望があれば擬似ポスター発表と同様に資料提示場所の周知などに使えるようにしたほか，JavaScriptを組み込んで簡単な検索が行えるようにしてあった．

秋季講演会Slackワークスペースの参加者数は会期中徐々に増え，最終日には114名に達した．さらに秋季講演会終了後も少しずつ増えている．アンケートでも一定期間ワークスペースを残して欲しい，という意見が得られている．非リアルタイムのテキストベースでの議論の場はかつてのオンライン掲示板のようで，普段の学会とは勝手が異なるものの，今後どのように使われるようになるか興味深い．

図1:SpatialChatによるオンライン懇親会の様子.

お茶飲み場と懇親会会場で導入されたSpatialChat（図1）は，Zoomなどの打ち合わせ・講演用のオンライン会議システムとは異なり，仮想空間でのアバターの距離に応じて会話音声のボリュームが変化するというユニークな機能を持ったツールである．懇親会では乾杯前後の参加者が20名規模の状態ではアバターがわりの参加者アイコンを動画としても問題なく動作していたたが，参加者が増えて30名を超えると急激に重くなり，アバターの移動や会話に支障が出る状態になってしまった．結局早めに中締めして個別のZoomに三々五々分かれてもらうようにした（それより早く自主的に見切りをつけて脱出した人もいたようである）．オンライン懇親会の形態はしばらく試行錯誤が必要そうである．

秋季講演会実行委員会(LOC)の内訳は，本稿共著のスタッフ8名である．さらに，html版プログラムの作成補助などの事前作業で2名，タイムキーパーなどの当日作業で5名の学生アルバイトを雇用した．

LOCの分掌は，委員長: 出村，総務/財務：平田，学会web対応：平田・宮本，会場手配：出村・本田，プログラム編成：大竹・嵩，予稿集および遊星人プログラム投稿：嵩，座長依頼：嵩，発表賞選考委員会対応：本田，参加ガイドライン制定：北里，総会対応：北里，口頭セッション：大竹，Zoom契約・事前検証・設定：小川，当日アルバイトおよびホスト対応人員配置：大竹，当日Slack対応：小川，SpatialChat契約：大竹，Zoom表示用時計・ベル設定：平田，Zoom表示用案内スライド：小川，擬似ポスター：平田，html版プログラム作成：平田，ショートオーラル：嵩，事後アンケート作成：平田，アルバイト書類手続：北里，懇親会：大竹，遊星人報告書：出村，であった．

会期中は会津大学内の1室を運用室とし，COVID-19感染対策を講じた上で，Zoom会議室のホスト，タイムキープなどの秋季講演会の運用作業を行なった（図2・3）．JpGUのオンライン開催時のZoomホスト役の一部を会津大学で分担していたことは学会のオンライン開催の経験値を事前に上げることができた大きな要因と思われる．また，他分野での学会のオンライン開催の記録がWebの記事として各所に公開されていたのも大いに参考になった．Zoomホスト用の機材とタイムキーパー用の機材を分けたのはその一端である．

なお，参加費を無料化したため，学会運営費用は会津大学内の講演会開催助成制度を利用して賄った．主な支出先はZoomなどの利用料と学生アルバイトの雇用である．

図2:会期中の運用室の様子.

図3:LOC集合写真.

3. 秋季講演会実施結果に関するアンケートの回答結果とその分析

秋季講演会の実施後に会員・非会員向けにアンケートを行った．11/25の開始から約2週間で66名の方から回答を得ることができたので，以下にその内容を紹介する．

回答者の属性

まず回答者の身分等についての質問の結果を図4に示す．一般正会員が最も多く，全体の2/3を占めており，学生正会員からの回答がそれに次いでいる．学会全体での一般会員と学生会員の比率は5:1程度であるが，秋季講演会の参加者は学生会員の比率が大きくなる(2019年の場合は2:1程度)ので，それに近い比率での回答を得ているようである．なお，回答者のうち実際に秋季講演会に参加したのは61名，不参加だったのは5名であった．また不参加の理由としては，「日程が合わなかったから」が3，「オンライン開催だったから」が2，その他が1であった．

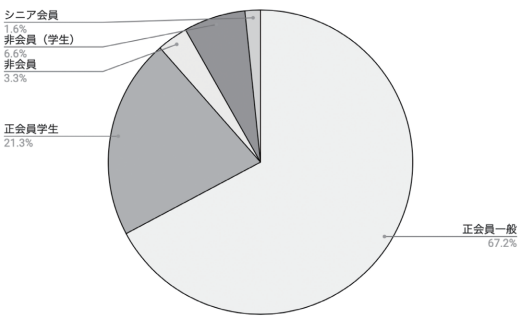

図4：回答者の秋季講演会時点での会員区分・身分（回答数66）．

口頭セッション

2020年の秋季講演会も例年と同じく3日間の開催となったが，オンライン開催の場合，参加者は各自の所属機関や自宅などから自由にZoomによる口頭セッションに参加することになるため，発表をずっと聴き続けることも，一部のみ聴講することもできる．図5にZoomで口頭セッションに接続し，発表を聞いていた時間の割合を質問した結果を示す．ほぼ全ての発表を聞いたとする人も1/3弱いる一方で，時間を限って参加した人も多数いたことがわかる．個々の参加率とその人数比から全体の平均的な参加率を概算すると6割程度ということになる．

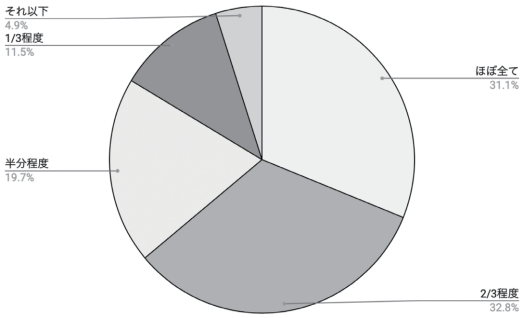

図5：口頭セッションに接続し，発表を聞いていた時間の割合（回答数61）．

また，パラレルセッションでの口頭発表をどのように聴講したかも尋ねてみると，全体の3/4が一方のセッションのみを聴講していたと回答したものの，部屋の頻繁な移動や複数デバイスを使って同時接続を行うといったオンライン開催の特性を活かした聴講形態をとっていたという回答も1/4を占めていた(図6)．

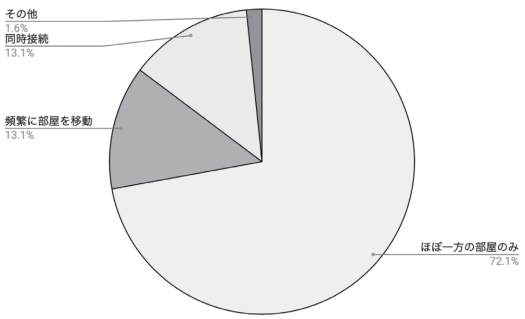

図6：パラレルセッションの聴講形態．

セッション形態そのものに対する意見を尋ねたところ，図7に示す通りパラレルセッションを推す意見とシングルセッションを推す意見が参加者，発表者ともに拮抗する結果となった．どちらのセッション形態が望ましい口頭発表の形態かという議論に結論を出すことの難しさを示しているようである．ただし，自由記入欄での意見はパラレルセッションに対する不満の方が目立っていた．

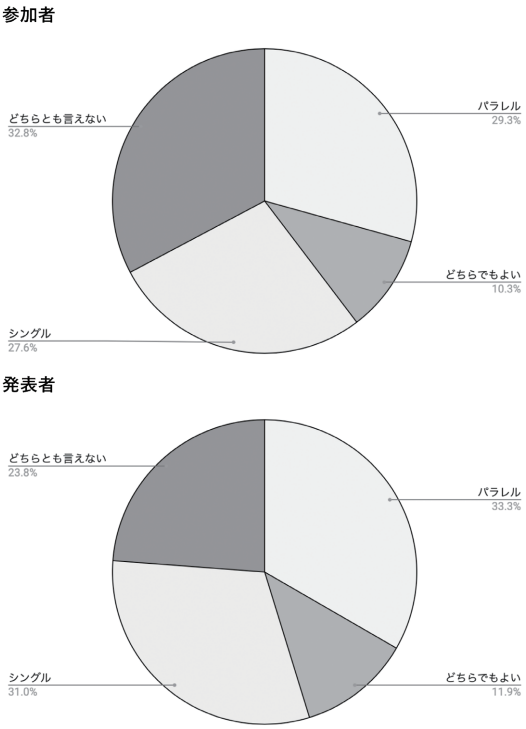

図7：セッション形態に対する意見（パラレルセッションとシングルセッションのどちらがよいと思うか）（回答数61（参加者），42（発表者））．

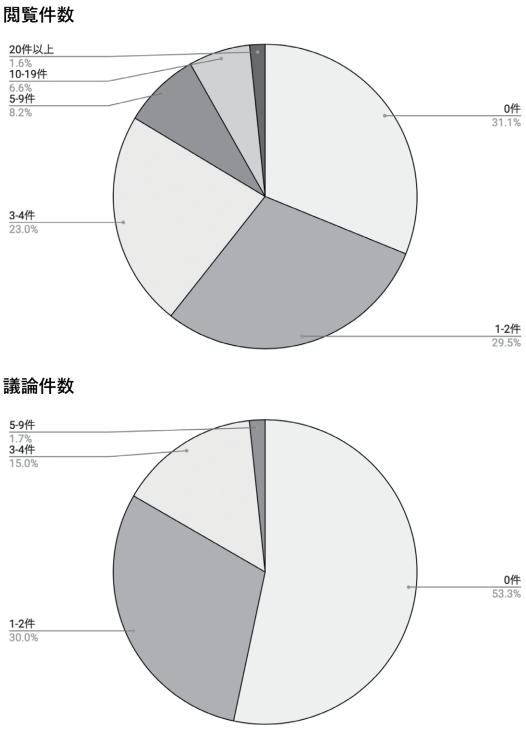

図8：参加者視点での擬似ポスターセッションの状況（閲覧した発表の件数と議論に参加した件数）（回答数61（閲覧件数），60（議論件数））．

このほか参加者と発表者それぞれに対して発表時間（質疑応答と交代時間を含めて15分）の印象やZoomでの口頭セッション実施の全般的な印象や，トラブルの有無を尋ねているが，概ね適切かつ大きな問題はないという回答を得ている．総合評価として「よかった」としている人は参加者側と発表者側いずれも9割程度に達している．ただし，少数意見ながら接続先がすぐにわからなかった，接続が切れた，音声の品質に問題があった，発表時の画面共有で問題があった，などの指摘もあった．

擬似ポスターセッション

今回初めての試みとなった擬似ポスターセッションについても参加者と発表者の状況を調査した（図8，9）．ある程度使い慣れた人の多いと思われる既存のツール，サービスを組み合わせてポスターセッションに近い環境を作ることを目指した擬似ポスターセッションではあるが，どうしても口頭セッションに比べると参加率や議論の活発さは劣る面があったようで，閲覧数や質疑応答数が少ない，またはほとんど閲覧されないか質疑がない発表もあったようである．

このような状況を反映してか，擬似ポスターセッションの参加者，発表者双方からの全般的な評価も口頭セッションに比べると厳しいものになっている（図10）．ただ，一定数「よかった」という反応が得られているのも事実であり，今後もし類似の形式のセッションを開催する場合の参考にもなりそうである．

また，擬似ポスターセッション発表に割り当てられたフラッシュトーク（いわゆるショートオーラル）についても意見を聞いているが，全般的な傾向はセッション本体に対する評価と同様であった．なお，今回ポスター発表に対する申し込み件数制限を行わなかったために，1人の発表者がまとめて長時間のフラッシュトーク時間を得て発表することが可能に

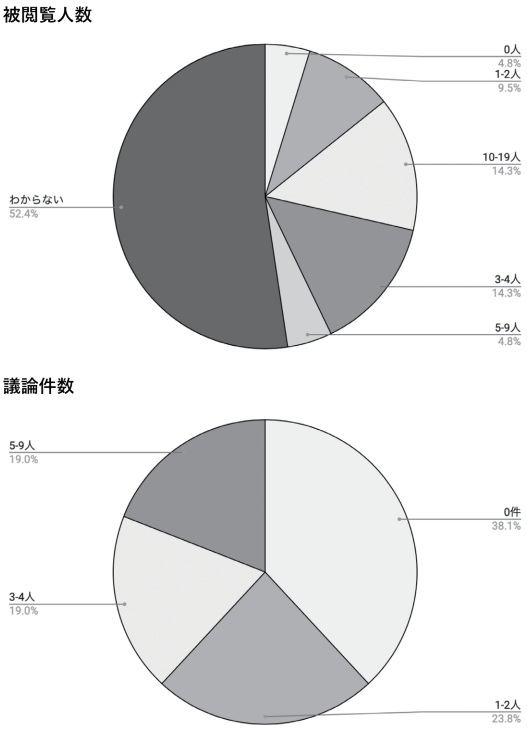

図9：発表者視点での擬似ポスターセッションの状況（閲覧された人数と議論の件数）（回答数21）．

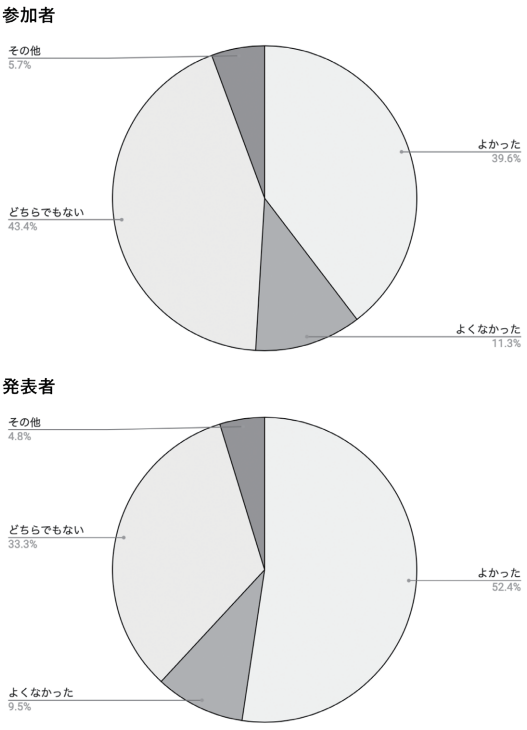

図10:擬似ポスターセッションの評価（回答数53（参加者），21（発表者））．

なってしまった点に対する批判が多かったことは特記すべきであり，かつLOCとしての反省材料であった．

html版プログラム・Slack・Spatial.Chat

今回導入したhtml版プログラム，Slack，Spatial.Chatについても意見を聞いている．html版プログラムとSlackについてはいずれも見慣れない存在として戸惑いを与えつつも一定の評価を得たものと思われる（「便利だった／有用だった」という回答がhtml版プログラムは7割，Slackは5割）．他の学会講演会，研究会等でもインタラクティブなオンライン版のプログラムや，議論の補助ツールとしてのSlackまたは類似のツールを導入している例は増えているようであり，開催形態にかかわらず今後の秋季講演会でもこれらのツール等の活用は考慮してもよいように思われる．6割強の参加者が，html版プログラムはオンライン開催でなくてもあった方が良いと回答している（ただし不要という回答も1割強存在）．一方，html版プログラムは更新のたびのダウンロードが面倒という意見をはじめとした様々なコメントも寄せられており，導入するにしてもこれらのフィードバックを反映することは必要であろう．

Spatial.Chatは，雑談スペースと懇親会会場，どちらケースも利用例は回答者の1/3程度に留まっていた．ある程度楽しんで利用できたという意見もあった一方，懇親会時に参加者が増えると動作が不安定になった点を指摘する意見が多かったのは，実態から見て致し方ないことであり，お詫びするしかないことである．

このほか，自由記入欄などを通じて寄せられた個別の意見などについていくつか抜粋して紹介する．

全般・口頭セッション

●初めてのオンラインでの秋季講演会でしたがかな

りスムーズだったと思います.

●進行はスムーズだったように思う. 口頭セッションは非常に聴きやすく, 質疑応答もzoomのチャット等を通じて円滑にできていた. ポスターセッションもじっくり議論できてよかった. パラレルセッションだったため, 興味のある講演を聴くために会場を変更する(渡り歩く)のが少々手間であった.

●2つのセッションが並行していたために, 時間が被っている発表の片方を聴くことができなかったので, オンラインでもシングルセッションの方が全ての講演を聴くことができて嬉しいです.

●実験的な導入であった並列セッションは失敗という結果に終わったという感想をお伝えしたい. 日本惑星科学会の講演会は, 俯瞰的な分野を会員が文字通り俯瞰できるためにシングルセッションを維持して来たはずである. 今回の新形式はそこから逸脱したら何が起こるのかの実験という位置付けと理解するが, その結果は予想通りであり, 連合大会や他の大きな学会と同様に「聞きたい講演・セッションが重なってしまい, 聞けなかった」というものである.

●パラレルセッションのため, 聞きたい講演が同じ時間で被っていることがあったため, シングルセッションが良かったです.

●オンライン実施は良い部分もあるが, 議論はしにくいと感じました.

●非会員かつ学生でない場合でも無料で聴講できるのは素晴らしかったです.

●初めてのオンラインでの開催でしたがとても有意義な講演会で参加してよかったです.

擬似ポスター

●Slideshare や Dropbox で掲示していた方が多かった. じっくり目を通せてありがたかった.

●ポスターの発表概要をまとめたプログラムページがあるとよかった. ポスターがいつあるのか, アクセスはどこにするのかが見づらかった.

●zoomを使ったが, 画面共有ができるので効果的であった. 現地集合の物理的なポスターではこうは行かない.

●ポスター発表のコアタイムに関して, ポスター発表がそれぞれzoom上で独立しているので, ポスター発表者同士がお互いの発表を聞きあうということができなかった.

●ポスターセッションへの参加者が非常に少なかったので, ポスターへの誘導方法が改善点として挙げられます.

●スライド資料形式にしたので, いわゆるポスターよりも充実した内容にすることができた. その他, 補足資料も画面共有で提示しながら説明することができた.

●コアタイムが被ると, 自分以外のポスター発表を聞けない(通常の学会なら, 自分のポスターに人がいない場合は, 他の人の発表を聞きに行けるが, zoomだと自分のセッションに張り付いていないといけないので, 時間が無駄になる).

htmlプログラム・Webサイトなど

●Webサイトがやや複雑で, 目的とする情報にたどり着くのに少し時間がかかった.

●html プログラムをダウンロード & 展開しなければならないところとは少し面倒に感じました.

●サムネイルなど, 擬似ポスターの概要が一覧できるような機能があれば効率的に閲覧する擬似ポスターを選べると思いました.

SpatialChat・懇親会など

●思った以上によかったです. 回線が弱いとうまく行かないようでそのために退室した人がいた点だけ残念でした.

●普通の懇親会の雰囲気を味わうことができた.

●カオスなところが良かったし楽しかった.

●懇親会の時間帯に加えて, 1日目・2日目のセッション終了後などにも他の参加者の方々(海外在住者含む)と近況報告や雑談を楽しむことができたので, 個人的にはとても有意義でした.

●学生の立場からして, 対面してあったことのある人と同じぐらいSNSでのみ交流のある方が多いので, チャットベースの懇親ルームがあってもよいかもしれないと考えていた.

●激重.

●懇親会は参加できずに合間時間の雑談時間に利用しましたが予想以上に同じ空間で話せているような感覚だったので驚きました.

●参加者が50人を超えると通信負荷が大きいのが難点だった，しかし10人程度であれば非常に快適であったので有用であることは確かである．特に，海外にポスドクとして渡航している方々との交流の敷居が下がった点はもっと評価されるべき点だと考えている．
●すでに知っている人がいると良いが，それ以外の人とは非常に話しかけにくかった．

謝辞

今回の秋季講演会のオンライン開催に当たって，行事部会や中本会長をはじめとした惑星科学会運営委員会のみなさま，そして和田JpGU大会運営委員長他から様々なアドバイスやご配慮を頂いた．また，本秋季講演会を惑星科学会と，学会を母体学協会とする大学共同利用・共同研究拠点「会津大学宇宙情報科学研究センター(ARC-Space)」との共催とさせて頂いた上で，会津大学から学会開催費用の助成も頂いた．各方面への謝意を申し上げる．

《目次へ

New face

大野 和正[1]

（カリフォルニア大学サンタクルーズ校）

こんにちは，2020年3月に東京工業大学 理学院地球惑星科学系にて博士号を取得した大野和正(おおの かずまさ)と申します．2021年2月より，日本学術振興会海外特別研究員としてカリフォルニア大学サンタクルーズ校に派遣させて頂いております．私の専門は太陽系外惑星の大気で，博士課程では系外惑星大気中での雲形成および雲の大気観測への影響に関して主に研究を行いました．これらの雲の研究に関しては以前の遊星人に記事を書かせて頂いたので，興味がある方は合わせてご一読頂けると幸いです[1]．現在は系外惑星大気の雲の研究[2]に加えて，太陽系内の衛星大気[3]や惑星形成に関する研究にも取り組んでおります．この度New Face記事を書かせて頂けるとのことで，これまでの私の経歴などについて話をさせていただきたいと思います．

私が惑星科学分野に興味を持つようになったのは大学1年時と比較的最近のことです．自分は元々，高校数学のようなパズルを解くような作業が好きだった(加えて国語や歴史などの文系科目が極めて苦手だった)という背景から東京工業大学を受験しました．そのため，恥ずべきことなのですが，入学当初は興味のある学問が不明瞭な状態で日々を過ごしていました．惑星科学分野との出会いとなったのは，地球生命研究所の井田茂教授らによる宇宙地球科学という学部1年生向けの授業です．それまで天文学の話題というのは「ニュースでたまに聞く」程度の接点しかなかったのですが，物理や数学という当時まで学校の勉強としてしか認識していなかったものを手がかりに惑星の起源を探れるという話に感銘を受けたのを覚えています．その後，別の授業などで，現在の惑星形成論には惑星の種となる微惑星がどうやって出来たのかがよく分かってないなどといった未解明の謎がまだまだ沢山存在することを知りました．このような背景から惑星科学に魅力を感じ，地球惑星科学系に進むことを決断しました．

研究室に所属後は，当時助教だった奥住聡准教授が卒業研究のテーマの1つとして提案した「系外惑星の大気における雲形成のモデリング」という研究に取り組むこととなりました．当初は微惑星形成の研究に取り組みたいと考えていたのですが，奥住先生の「雲形成の物理素過程は実は微惑星形成と似ている」という触れ込みに感化され，惑星形成とは一見離れた研究に取り組むこととなりました．研究テーマ選択の際には「微惑星形成と素過程が似てるってなんだか面白そう」くらいのモチベーションで始めた雲の研究でしたが，研究を進めるうちに系外惑星の大気観測を解釈する上で雲形成の理解が重要であること，また大気の情報は惑星形成過程を探る鍵となりうることなどを知りました．結果的には研究室生活6年間をフルに用いた研究となり，論文を何本か出

1.カリフォルニア大学サンタクルーズ校
kono2@ucsc.edu

すこともできました[4–6]．ある程度結果を残せたのは，奥住先生から先見性のあるテーマを頂けたおかげというのが大きいと思います．また，中々思うように研究が進まず苦悩していた時期にポジティブな気持ちに向くよう激励してくださるなど，奥住先生には研究以外の面でも大きく支えていただいたなと感じています．

研究生活の大きな転換点となったのは，2016年にカリフォルニア大学サンタクルーズ校で行われたKavli Summer Program in Astrophysics です．これは大学院生と分野の最前線で活躍するポスドク以上の研究者を集めて共同研究を行う6週間のサマースクールで，自分も修士2年時に大学院生の1人として参加しました．当時の自分は学部時代に補習講義を受ける程度には英語が大の苦手で，今になって思い返すとかなり思い切った参加だったと思います．しかし，周囲の参加者達は自分の不自由な英語のことは気にせず接してくれて，プログラム最終週には終わりが名残惜しく思うほどに充実した日々を送ることができました．特に，同世代の大学院生達とは連日昼は一緒にセミナー参加，夜はダウンタウンに遊びに行くなどして親交を深め，現在でも交流が続いています．プログラム参加前は研究は可能な限りストイックに行うべきという考えがあったのですが，海外で研究と私生活はきっちり分けるスタイルに触れ，メリハリを持って研究することが長い目で見ると重要だと学べたことも収穫でした．

Kavli Summer Program in AstrophysicsではカリフォルニアXi Zhang助教と系外惑星の大気循環に関する共同研究を行いました．自分が英語での議論に不慣れだったことに加え，論文執筆中に自分達の上位互換のような論文が先に出てしまったことで研究内容を大きく変えることになるなどかなり苦労をしました．そんな紆余曲折のあった共同研究でしたが，Zhang氏は辛抱強く議論に付き合ってくださり，最終的に2本の論文を出すことができた[7,8]のは大きな経験となりました．Zhang氏は，研究者としての心構えや英語論文を書く時に心掛けるべきことなども海外視点から色々と語ってくださり，自分の研究への取り組み方に大きな影響を与えた共同研究となったと思います．また，カリフォルニア大学に訪問する度に議論をさせて頂いていたJonathan Fortney氏のもとで海外学振研究員をさせて頂くことになるなど，1つのサマースクールへの参加が多くの縁を生む結果となりました．自分の興味ある研究会やスクールには臆せず参加していくことが重要なのだと思います．

本記事はCOVID-19による世界的なパンデミックの最中である2021年1月に書かせて頂いてます．米国への移住半月前に渡航制限がかかったことで派遣開始の時期が大幅に遅れるなど，自分も少なからずパンデミックの影響を受けることとなりました．このような大変な状況ではある一方で，渡航までの所属に関して奥住先生や井田先生が真摯に相談に乗ってくださるなど，自分がいかに多くの人に支えられているかを再確認する機会にもなりました．今後は惑星科学分野に貢献することでお世話になった方々に恩返しができるよう，より精進していきたいと思います．まだまだ未熟な自分ではありますが，今後ともどうかよろしくお願いいたします．

参考文献

[1] 大野 和正, 2020, 遊星人 29, 3.
[2] Ohno, K. and Kawashima, Y., 2020, The Astrophysical Journal Letters 895, L47.
[3] Ohno, K. et al., 2020, The Astrophysical Journal, arXiv2012.11932.
[4] Ohno, K. and Okuzumi, S., 2017, The Astrophysical Journal 835, 261.
[5] Ohno, K. and Okuzumi, S., 2018, The Astrophysical Journal 859, 34.
[6] Ohno, K. et al., 2020, The Astrophysical Journal 891, 131.
[7] Ohno, K. and Zhang, X., 2019, The Astrophysical Journal 874, 1.
[8] Ohno, K. and Zhang, X., 2019, The Astrophysical Journal 874, 2.

《目次へ

JSPS Information

◇日本惑星科学会 第54回総会議事録
◇日本惑星科学会 第140回運営委員会 議事録
◇日本惑星科学会 第141回運営委員会 議事録
◇日本惑星科学会 第142回運営委員会 議事録
◇日本惑星科学会 第143回運営委員会 議事録

◇日本惑星科学会第54回総会議事録

日時:2020年11月14日(土)12:30-13:30
場所:オンライン開催

正会員数:613名
定足数:61名
参加人数:123名
委任状:68通(議長:67通, 渡部潤一会員:1通)

1. 開会宣言
北里総務専門委員長が開会を宣言.

2. 議長団選出
運営委員会からの推薦で議長に藤井悠里会員, 書記に仲内悠祐会員が選出された.

3. 議事
3.1 審議事項
・第16期上期一般会計・特別会計予算案(佐伯財務専門委員長)
2020年度の予算執行状況と2021年度の予算案について説明がなされた.

・質疑応答及び討論
特になし

・採択
審議事項の採決が行われ, 賛成:190(うち出席者122), 反対:1, 保留:0により採択された.

3.2 報告事項
・自然災害に伴う会費免除措置等について(佐伯財務専門委員長)
免除措置の対象範囲や新型コロナウィルス状況で会費納入の支払いが困難であった場合の対応, 締め切り時期などについて説明がなされた.

・2020年秋季講演会開催報告(出村2020年秋季講演会組織委員長)
オンライン開催に伴い, 参加費無料化やパラレルセッションなど初めての試みを行った. 参加者数は2セッション合わせて常に約100〜190名. 落ち着いたら, ぜひ会津に温泉と日本酒を楽しみに来てください.

・2021年秋季講演会開催案内(城野2021年秋季講演会組織委員)
会場は名古屋市立大学. 日程は2021年9月16日(木)から18日(土). 19日(日)に一般向け講演会を開くことを検

討している.

・日本学術会議第25期推薦会員任命拒否に関する緊急声明について(中本会長)
10月6日のJpGU学協会会長会議で共同声明の提案を受け，10月9日までに回答を求められたため，運営委員で協議して共同声明への参加を決定した．その後，omlで会員向けに説明を行った．会員からは賛同の意見が二件，反対の意見が一件あった.

・事務局体制の将来について(中本会長)
事務局業務を委託しているイーサイド社から，自社都合により1〜2年のうちに業務受託を終了したい，という申し出があり，事務局体制を新たにする必要がある．新しい事務局体制について早急に検討し，新体制にスムースに移行する.

・第16期役員選挙について(北里選挙管理委員長)
選挙の日程や実施内容について説明がなされた.

3.3 学会賞授賞式:2020年度最優秀発表賞
吉田辰哉会員に2020年度最優秀発表賞が授与された.

4. 議長団解任

5. 閉会宣言
北里総務専門委員長が閉会を宣言.

以上

◇日本惑星科学会第140回運営委員会議事録

期間:2020年12月11日(金)〜12月12日(土)
議題:体制検討作業部会の設置について

運営委員会委員:
(出席者)23名
中本 泰史，中村 昭子，倉本 圭，和田 浩二，諸田 智克，関根 康人，玄田 英典，中村 智樹，中島 健介，寺田 直樹，田中 秀和，竹広 真一，小林 浩，臼井 寛裕，奥住 聡，荒川 政彦，北里 宏平，佐伯 和人，関 華奈子，田近 英一，平田 成，薮田 ひかる，渡部 潤一
(欠席者)なし

成立条件:期間内に議決返信のあった者を委員会出席とみなす.
議決方法:上記期間内に steering-ml@wakusei.jp 宛に投票.

議題:事務局体制検討作業部会の設置提案について承認を求める.

提案内容:
(1) 設置する作業部会:「事務局体制検討作業部会」
惑星科学会の次期事務局体制について検討を行い，方針を示すことを目的とする.
(2) 部会員
次の6名を部会員とする.
荒川 政彦，平田 成，諸田 智克，佐伯 和人，佐々木 貴教，中本 泰史
(3) 部会長
中本 泰史

(4) 期限
この作業部会の活動は，次期事務局体制について方針を出すまでとする．方針を出したあとは解散する．

なお、方針を出したあとは別に「移行準備作業部会（仮称）」を設置し，具体的な作業はそちらで行うことを検討している．

審議結果:議題は原案のとおり承認された（可23・否0）．

以上

◇日本惑星科学会第141回運営委員会議事録

期間:2020年12月28日（月）～2021年1月7日（木）
議事:
報告1　会長選挙結果
報告2　運営委員選挙結果
報告3　会長による運営委員の選任
報告4　各専門委員会委員長の選任
議案1　副会長の選任
議案2　作業部会委員長の選任
議案3　監事候補者の選出
運営委員会委員:
（出席者）21名
中村 昭子，玄田 英典，関根 康人，奥住 聡，寺田 直樹，田中 秀和，小林 浩，関 華奈子，千秋 博紀，大竹 真紀子，佐伯 和人，薮田 ひかる，保井 みなみ，荒川 政彦，臼井 寛裕，倉本 圭，田近 英一，中島 健介，中村 智樹，三浦 均，百瀬 宗武
（欠席者）なし

成立条件:期間内に議決返信のあった者を委員会出席とみなす．
議決方法:上記期間内に steering-ml@wakusei.jp 宛に投票．

報告1:会長選挙結果
投票総数　118（有効票118）

得票数　氏名（所属組織）
116　中村 昭子（神戸大学 大学院理学研究科）
2　散票

以上により，第16期会長に 中村 昭子 会員が選出された．

報告2:運営委員選挙結果
投票総数　837（投票者数87，有効票782，無効票55）

順位	得票数	氏名（所属組織）
1	31	玄田 英典（東京工業大学 地球生命研究所）
2	28	関根 康人（東京工業大学 地球生命研究所）
3	26	奥住 聡（東京工業大学 理学院）
4	25	寺田 直樹（東北大学 大学院理学研究科）
5	22	田中 秀和（東北大学 理学研究科）
5	22	小林 浩（名古屋大学 大学院理学研究科）

5	22	関 華奈子(東京大学 大学院理学系研究科)
8	21	千秋 博紀(千葉工業大学)
9	20	大竹 真紀子(会津大学)
10	19	佐伯 和人(大阪大学 大学院理学研究科)
10	19	薮田 ひかる(広島大学理学研究科)
10	19	保井 みなみ(神戸大学 大学院理学研究科)

以上により，上記12名が第16期運営委員に選出された.

報告3:会長による運営委員の選任
上記の選挙結果及び会則第12条3項により，下記8名が会長によって第16期運営委員に選任された.
荒川 政彦，臼井 寛裕，倉本 圭，田近 英一，中島 健介，中村 智樹，三浦 均，百瀬 宗武

報告4:各専門委員会委員長の選任
上記の選挙結果及び会則第12条4項により，以下のとおり各専門委員会委員長が会長によって選任された.

総務専門委員会長　保井 みなみ
行事部会長　玄田 英典
広報専門委員会長　奥住 聡
財務専門委員会長　佐伯 和人
編集専門委員会長　三浦 均
欧文誌専門委員会長　大竹 真紀子
将来計画専門委員会長　荒川 政彦
惑星探査専門委員会長　関根 康人
情報化専門委員会長　千秋 博紀
対外協力・連携専門委員会長　倉本 圭

議案1:副会長の選任
会則12条2項により副会長に下記2名が会長によって選出されたので承認を求める.

副会長　並木 則行，中本 泰史

審議結果:議案は原案のとおり承認された(可21・否0).

議案2:作業部会委員長の選任
会則12条7項により作業部会委員長に下記1名が会長によって選出されたので承認を求める.

事務局体制検討作業部会長　中本 泰史

審議結果:議案は原案のとおり承認された(可21・否0).

議案3:監事候補者の選出
会則12条6項により監事候補者として適任と思われる方2名を選出いただきたい.

審議結果:会長から 小河 正基 会員と 大槻 圭史 会員が推薦された．運営委員による投票の結果，全会一致で小河・大槻両会員が監事候補者に選出された.

以上

◇日本惑星科学会第142回運営委員会議事録

期間:2021年1月19日(火)～1月25日(月)

議題:第16期専門委員会及び部会委員の承認

運営委員会委員:
(出席者)23名
中村 昭子, 並木 則行, 中本 泰史, 玄田 英典, 関根 康人, 奥住 聡, 寺田 直樹, 田中 秀和, 小林 浩, 関 華奈子, 千秋 博紀, 大竹 真紀子, 佐伯 和人, 薮田 ひかる, 保井 みなみ, 荒川 政彦, 臼井 寛裕, 倉本 圭, 田近 英一, 中島 健介, 中村 智樹, 三浦 均, 百瀬 宗武
(欠席者)0名

成立条件:期間内に議決返信のあった者を委員会出席とみなす
議決方法:上記期間内に steering-ml@wakusei.jp 宛に投票

・構成員の4分の3以上の出席を確認したため、運営委員会は成立したとみなす。

議案:各専門委員会委員が選出されたので, 承認を求める(◎の各専門委員会委員長, ○の部会長, グループ長については第141回運営委員会にて承認ずみ).

1)総務専門委員会
◎保井 みなみ, 諸田 智克, 奥住 聡, 谷川 享行, 小林 浩, 北里 宏平, 藤谷 渉, 武藤 恭之, 國友 正信

行事部会
○玄田 英典, 中島 健介, 平田 成, 城野 信一, 藤谷 渉

2)広報専門委員会
◎奥住 聡, 臼井 寛裕, 鎌田 俊一, 黒川 宏之, 黒澤 耕介, 瀧川 晶

3)財務専門委員会
◎佐伯 和人, 横田 勝一郎, 竹広 真一

4)編集専門委員会
◎三浦 均, 瀧川 晶(編集幹事), 上椙 真之, 岡崎 隆司, 小川 和律, 鎌田 俊一, 木村 勇気, 黒澤 耕介, 小久保 英一郎, 坂谷 尚哉, 杉山 耕一朗, 関口 朋彦, 田中 秀和, 谷川 享行, 長 勇一郎, 成田 憲保, はしもと じょーじ, 濱野 景子, 本田 親寿, 諸田 智克, 山本 聡, 和田 浩二, 渡部 潤一

6)将来計画専門委員会
◎荒川 政彦, 保井 みなみ, 玄田 英典, 奥住 聡, 佐伯 和人, 関根 康人, 千秋 博紀

事務局体制検討作業部会
○中本 泰史, 荒川 政彦, 平田 成, 諸田 智克, 佐伯 和人, 佐々木 貴教

7)惑星探査専門委員会
◎関根 康人, 渡邊 誠一郎, 並木 則行, 寺田 直樹, 臼井 寛裕, 笠原 慧

8)情報化専門委員会
◎千秋 博紀, 平田 成, 伊藤 孝士, 大竹 和生, 石岡 圭一, 荒川 政彦, 小川 和律, 石原 吉明, 納田 明達, 北里 宏平, 黒澤 耕介, 林 祥介

審議結果:議題は原案の通りに，全会一致で承認された.（可23･否0）

以上

◇日本惑星科学会第143回運営委員会議事録

期間:2021年1月21日（木）～1月26日（火）

議題:第16期専門委員会の追加承認

運営委員会委員:
（出席者）21名
中村 昭子，並木 則行，中本 泰史，玄田 英典，関根 康人，奥住 聡，寺田 直樹，田中 秀和，小林 浩，関 華奈子，千秋 博紀，大竹 真紀子，佐伯 和人，薮田 ひかる，保井 みなみ，荒川 政彦，臼井 寛裕，田近 英一，中島 健介，三浦 均，百瀬 宗武
（欠席者）2名
倉本 圭，中村 智樹

成立条件:期間内に議決返信のあった者を委員会出席とみなす
議決方法:上記期間内に steering-ml@wakusei.jp 宛に投票

･構成員の4分の3以上の出席を確認したため、運営委員会は成立したとみなす。

議案:各専門委員会委員が追加で選出されたので，承認を求める（◎の各専門委員会委員長については，第141回運営委員会にて承認ずみ）.

5）欧文誌専門委員会
◎大竹 真紀子，玄田 英典，鎌田 俊一，癸生川 陽子

9）対外協力･連携専門委員会
◎倉本 圭，伊藤 洋一，小川 佳子，小久保 英一郎，佐々木 晶，橘 省吾，宮本 英昭，矢野 創，田中 佑希（連合大会プログラム委員･正），黒崎 健二（同･副）

審議結果:議題は原案の通りに，賛成多数で承認された（可21･否0）.

以上

編集後記

皆様の手には，これまでと変わらない質の高い遊星人が届いたでしょうか．本号から，編集長が和田浩二さんから三浦均さんへ，編集幹事が杉山耕一朗さんから瀧川へ引き渡され，新しい遊星人編集体制が始まりました．

新編集長から，「編集幹事にならない?」と声がかかったのはちょうど一年前でした．京都大学から東京大学に異動した，まさにそのタイミングだったので，三浦さんの情報収集力におののきつつ，これが職を得るということかと妙に腑に落ちた記憶があります．なんとかなるかと引き受けてからは，細かいことがそんなに気にならない自分を眺めて，心もとない気持ちのままに進んでいます．この場でどんな所信表明ができるだろうかと真面目に考えていると，「できるだけ丁寧に見ていれば，いずれ上達するだろう」という，多少前向きな願望がみつかったので，これを頼りにしていこうと思っています．そう書いているこの短い編集後記ですら，前編集幹事の杉山さんの「朗」の漢字を間違えて，ご本人の手により発覚するという体たらくです．ですので，手元にある遊星人の後ろには，三浦新編集長や経験豊富な編集委員の方々の力を感じていただけるはずです．

次号に向けた皆様からの原稿をお待ちしております．今後ともどうぞよろしくお願いいたします．（瀧川）

編集委員
三浦 均 [編集長]
瀧川 晶 [編集幹事]
上椙 真之，岡崎 隆司，小川 和律，鎌田 俊一，木村 勇気，黒澤 耕介，小久保 英一郎，坂谷 尚哉，杉山 耕一朗，関口 朋彦，田中 秀和，谷川 享行，長 勇一郎，成田 憲保，はしもと じょーじ，濱野 景子，本田 親寿，諸田 智克，山本 聡，和田 浩二，渡部 潤一

2021年3月25日発行

日本惑星科学会誌　遊・星・人　第30巻　第1号

定　価　一部　1,925円（税込・送料込）
編集人　三浦 均（日本惑星科学会編集専門委員会委員長）
印刷所　〒224-0044 神奈川県横浜市都筑区川向町787-1 株式会社 シュービ
発行所　〒105-0012 東京都港区芝大門2-1-16 芝大門MF ビルB1階
株式会社イーサイド登録センター内 日本惑星科学会
e-mail : staff@wakusei.jp
TEL : 03-6435-8789／FAX : 03-6435-8790
（連絡はできる限り電子メールをお使いいただきますようご協力お願いいたします）

本誌に掲載された寄稿等の著作権は日本惑星科学会が所有しています．
複写される方へ
本誌に掲載された著作物を個人的な使用の目的以外で複写したい方は，著作権者から複写等の行使の依託を受けている次の団体から許諾を受けて下さい．

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル 学術著作権協会
TEL : 03-3475-5618／FAX : 03-3475-5619
e-mail : kammori@msh.biglobe.ne.jp

著作物の転載・翻訳のような複写以外の許諾は，直接日本惑星科学会へご連絡下さい．

学会誌原稿作成の手引き

日本惑星科学会編集専門委員会

1．原稿の様式

○投稿原稿：

受領可能なファイルの形式は，MS WORD, PDF, またはテキストファイルである．原稿投稿時チェックリストを参照して作成すること．また，所定の投稿原稿送り状も提出すること．

○最終稿：

原稿の掲載が決定したら，最終原稿準備チェックリストを参照して必要なファイルを提出する．原稿のファイル形式は WORD, PDF, または，テキストファイル．図は別ファイルにて提出．そのファイル形式は tiff, eps, pdf, pict が望ましい．jpeg, png も可．

投稿原稿送り状の雛型および各チェックリストはウエブサイト
(https://www.wakusei.jp/book/pp/guide.html)
から取得できる．

2．タイトル

記事のタイトルは20字程度以内．また，タイトル，筆者名，及び所属を和文・英文両者で付す．

(注：著者人数に対する制限はなく，紙面本文タイトルにおいて著者全員の氏名が原則掲載されるが，著者が多数である場合，各号の目次においては紙面の都合上一部著者名を省略することがある．)

3．要旨

研究報告の記事や解説記事については，(原稿タイトルと著者名の後に) 300字程度の要旨をつける．

4．セクション

セクションは1.,2.,...., サブセクションは1.1,1.2,...., 細区分は (1) , (2) ,...., の記号を頭にして，左寄せ，行末改行とする．

・文中での区分けは (a) , (b) , (c) .を用いる．
・これら記号はすべて半角文字を用いる．
・セクションタイトルは簡潔にすること．

5．述語

専門用語はなるべく避けるか，十分な説明をつける．特に，対応する日本語がある場合，英語・英略語は使わない．

6．字体

－数字，英字は半角とする．また ( ) [ ] ： ; など区切り記号も半角を用いる．
－変数は斜体，ベクトルと行列は太字，を使う．

7．句読点

句読点は全角の“，”と“．”を用いる．

8．図．表

文中での図表の引用は“図1”,“図2”の形をとる．最終稿に図表の刷り上がり時の位置や大きさを指定のこと．他の文献から図表を転載する場合は，著者及び発行者より転載許可を得ること．また，出典を明記すること．

図作成のガイドライン：

原則として，電子ファイルとして作成すること．解像度は印刷時実寸で300dpi相当以上．ファイル形式はTIFF, EPS, PDF, JPEG, PNG が望ましい．

やむをえない場合に限り，写真も可とする．その際はL版サイズ以上の大きさで鮮明な写真を送付すること．送付された写真は原則として返却しない．カラーページは，著者の費用負担により可能．ただし，著者が希望し，かつ編集委員会が認めたものについては，印刷費用を学会が負担する．カラー印刷の希望が無い場合，電子版のみにカラー画像が掲載され，冊子体には白黒で印刷される．

9．脚注

脚注は“1”などの記号をつける．

10．文献の引用

引用文献は重要なものに限る．目安として20項目程度とする．ただし編集部が必要と認めた場合についてはこの限りではない．

本文中での引用は [1] , [2] の形で通し番号をつけ，論文の末尾に一括してリストを載せる．

文献リストは題名は省略し，3人以上の著者は et al. と表記する．雑誌名などは一般に使われる略称を用い，ページについては開始ページのみを記すこととする．

参考文献

[1] Wakusei, T. et al., 1989, Astron. Astrophys. 220, 293.
[2] 惑星太郎, 1993, 天文月報 86, 186.
[3] Bohren, C. F. and Huffman, D. R., 1983, Absorption and Scattering of Light by Small Particles (New York: Wiley).
[4] Hayashi, C. et al., 1985, in Protostars and Planets II, 1100.

11．投稿原稿送付先

遊星人編集長　三浦 均
e-mail：chiefeditor@wakusei.jp

電子メールで送付できない場合は下記へ郵送
〒105-0012 東京都港区芝大門2-1-16
芝大門ＭＦビルＢ１階
株式会社イーサイド 登録センター内
日本惑星科学会事務局 遊星人編集長

The Japanese Society for Planetary Sciences