

水谷先生と語る太陽系探査

水谷 仁¹, 山本 哲生², 林 祥介³, 倉本 圭⁴, 小久保 英一郎⁵,
はしもと じょーじ⁶

(要旨) 2013年9月17日から20日まで、北海道ニセコ町で惑星科学フロンティアセミナー2013(主催・惑星科学フロンティアセミナー実行委員会)が開催されました。この中で、講師に迎えた独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)の宇宙科学研究所(ISAS)名誉教授で科学雑誌Newton編集長の水谷仁氏を囲んで、ISAS在任中の思い出を語り合う座談会が企画されました。月探査機LUNAR-A計画の狙いに始まり、宇宙科学研究をどのように展開すればよいのか研究手法にも話題が及び、さらには惑星科学コミュニティが中心となって次なる惑星科学の研究テーマをどう見出すべきなのかといった内容が話し合われました。以下、座談会で行われた主なやり取りを紹介します。(敬称略)

■「やりたいことはLUNAR-A」

小久保英一郎(国立天文台教授) 月のことですが、自分がやり残したと思っていること、これからやりたいと思う科学に関して、何か考えていることがあれば聞かせていただけますか。

水谷仁(宇宙科学研究所名誉教授) やりたいことはLUNAR-A。内部構造が分からないと月の起源は分からない。例えば、親鉄性元素の存在度が分かるだけで、かなり違ってくる。だから内部構造を、コアがどれくらいあるのかということが、きちんと分かれば、月起源の話にも結びつくし、面白い。これは誰も知らないし、いまあるデータだけでは、ほとんど結論がつかない。LUNAR-Aができなかったのは残念だね。

小久保 計画自体はロシアのものとかいろいろあると思いますが、月の起源といえば、よく月周回衛星「かぐや」(SELENE)のことを聞かれます。

水谷 SELENEで月の進化ぐらいは分かる。何億年ぐらい前に、この地域ができて、クレーターがどれく

らいの頻度でできて、ということは分かります。月の起源はLUNAR-Aの問題であって、SELENEは月の起源をだすものではない。

小久保 何ができたらいいかと考えたときに、やはり僕はLUNAR-Aがよいと思う訳です。直接、刺して、地震とか熱量をみないとダメなのですよ。それこそが質的に新しいことで、それじゃないと月の起源については新しいことを知ることは難しい。

水谷 そう言い続けてきたけど、残念ながらできなかった。いまさら申し訳ないのだけど。

はしもとじょーじ(岡山大学准教授) いやあ、LUNAR-Aは打ったらいいと思うのですよね。

山本哲生(神戸大学教授) お気軽に言っている。

水谷 お気軽にはできないのだ。残念ながら。

はしもと お気軽にというか、もうできたのですよね。だったら、打たなきゃ。

山本 次だろうけど、実証試験がある。

はしもと 実証試験終わっていないのですか。

水谷 実証試験、一応、できた。

山本 スペースでのがね。

小久保 1カ所でも刺せばいいのですかね。

倉本圭(北海道大学教授) 1カ所は何とか。

小久保 あとローバーで遠くに運んでいってもう1カ所とか。

1. 株式会社ニュートンプレス／宇宙科学研究所名誉教授

2. 神戸大学惑星科学研究センター

3. 神戸大学大学院理学研究科

4. 北海道大学大学院理学院

5. 国立天文台

6. 岡山大学大学院自然科学研究科

倉本 それは無理ですね。

水谷 200 km ぐらい離れていればね、5 km や 10 km では難しいな。

小久保 ペネトレーターを落として刺すというところが、ちょっと博打のような感じがするので、ロボットで着地して刺すというのを3つばらまくとか、そういう方向は考えてなかったですか？

水谷 その方がはるかに難しいと思ったのだね。

小久保 そっちの方が難しいのですか。

水谷 軟着陸させることはものすごく難しい。軟着陸させないでやるのはペネトレーターの利点である。

はしもと それは同じ重量でやるのだったらという話ですよ。リソース使ってロケット何本打ってもいいというのだったら、軟着陸して刺すほうが楽なんじゃないですか？

水谷 楽ではないと思うけど、M—V ロケットの能力でできるかという、たぶんできない。

はしもと M—V ロケットを10機使えばできるわけですよ。

林祥介(神戸大学教授) ロボットでやるよりは、ペネトレーターに制御装置をつけて真っ直ぐ落としたほうが良いではないですか？ 斜めに刺さるのでしんどかった訳ですよ。

水谷 まっすぐするのが難しい。

会場から 制御してもまっすぐにならないのです。真空なので。

会場から せめて火星ぐらいの大気があれば。

山本 火星だったらね。

水谷 重量のことを考えなければ、ペネトレーターにジェットをつけて姿勢制御することは不可能ではないのだけど、かえて重くなる。火星のように大気があればパラシュートだのいろんな方法が考えられて、姿勢制御できる。月はとても難しいですね。

小久保 月以外で、地球でも他の惑星でもいいんですけど、こんなことをやってみたいなと、いまになって思えばいかがですか？

水谷 月の次に僕はマーキュリーをやりたかった。マーキュリーに地震計を置きたかった。

参加者一同 おお——。

倉本 それはなぜですか。

水谷 マーキュリーは理論的予想によると、コアがものすごく大きい。一様になっているのではないかと

う気もするし、コアがあんなに大きくて、70% ぐらいだったか、なぜ、そんなに大きなコアになったのか。

林 液体核が、どれくらいあるかというのは？

会場から 液体核はあるとされています。

水谷 磁場があるからね。

林 計算によると液体核は薄っぺらいのでは？

倉本 厚さは制約できていないです。データからは。

水谷 だからね、あれは測ったら面白い。

小久保 水星にペネトレーターということですか？

水谷 そうそう。月でもできれば水星でもできるだろうという、まあ、非常に単純な発想だよ。そういう難しさがあることを知らなかった訳だよ。熱の問題とか姿勢制御の問題とか始めは知らなかった。宇宙研にきて初めて、なかなか難しいなというのを知った訳だけでも。でも、やりたいことの1つだな、水星は。

水谷 この場合は1個でもいいのだよ。まず、地震があるかないか調べないといけないから。1個置いて、まず地震があります、それだけでもいい。次に地震があると分かったら3台飛ばしましょう、4台飛ばしましょうという話になる。やはり順を追って調べる。

はしもと 順を追ってという話であれば、まず、動かさうか確かめましょう。だから、まず月に1発打つたらい。

水谷 1発打つだけでもいいのは水星だ。月だと地震があるということは分かっているから。

小久保 他の惑星はどうですか？ 水星以外。

水谷 どんな惑星でも興味あるのだけど、第一級という月と水星でしょう。マーキュリー、金星だって火星だってホントは内部構造が分かっているとは言えないから、どれでもいいのだけど。

山本 水星が面白いというのはよく分かりましたけれど、月は現時点でも何か面白いのですか？

水谷 月がどうやってできたかという、巨大な衝突でできたという説もあるし、まだ、そうでないという考え方もある、コアクリション(co-accretion)みたいな話もあるし。これに決着をつけるには、やはり内部構造ですね。

山本 内部構造の何が決着をつけるのですか。

水谷 それは親鉄性元素の存在。重いものは地球に落ちてきているから、小久保君のシミュレーションのようにできたとすると鉄の量は少ないはずだから、月のコアは小さいはずだということになる。

山本 現在は間接的な証拠で分かっているのでは？

水谷 分からない。慣性能率である程度分かるというけれど、あれはどのようにでも解釈できる。コアしかないと考えれば、ある程度分かるけど、プラスマイナスを考えたら、300 kmでも400 kmでもあり得る。

山本 そうですか。

水谷 慣性モーメントだけでいくと400 kmぐらいのコアがあってもおかしくない。コアが400 kmもあったら小久保君の説は破綻するでしょう。

山本 もし問題をコアの大きさにスペシファイするのだとすると、ペネトレーター以外の方法もあり得るのではないですか？ 例えば、月の周回衛星、長い間、回して、軌道から観測する方法とか。

水谷 慣性能率を非常に精密にとる？ 多分、あまり望みがないのです。精度を上げて観測しても、要するに慣性能率って、全体の質量分布を反映するので、クラスト側にちょっとモノがあるとコアの半径に影響する。だから、多分、慣性能率だけではだめですね。

山本 重力場は？

水谷 重力場も同じことですね。慣性能率でさえ、上層部にハイデンシティのレイヤーがちょっとでもあったりすると、簡単に変わる。上の方にちょっとデンシティの高いものを置くと、コアの大きさを多少変えるようなことは、いくらでもできる。

小久保 巨大衝突説の弱点の1つに、地球と月の岩石の酸素の同位体比があまりにも同じだという問題があります。どう考えても地球と同じ物質としか考えられないと、この点に関しては、どうお考えですか。

水谷 酸素同位体比は地球と隕石だってほんのちょっとしか違わない。地球周辺であれば地球と同じような存在比になる。明らかに変なところでできたものは酸素の同位体比が違うと思うけれど、地球周辺でできた隕石などの酸素同位体比は同じ値になる。地球から持っていく必要はないのではないかな。

小久保 火星起源だったらどうですか？

水谷 火星ぐらいだったらかなり厳しいかもしれない。

小久保 近地球型小惑星の隕石もずいぶん違うようです。小惑星はもっと遠くにあったかもしれないので、一概には言えないのですけれども。

水谷 小惑星の中にはいろんなものがあるからね。酸素同位体比が非常に地球に近いものもあるし、そういうものもあるので何ともいえないけれど、それで距離

が分かるという訳ではないと思う。そもそも酸素同位体比がなぜ違うのかということも分かっていないですから、酸素同位体比を元に、その起源を考えるというのは難しいでしょうね。

小久保 最近の巨大衝突説の研究では、地球と月の酸素同位体比が同じであることを説明するために、衝突によって地球から物質を地球軌道に上げることが考えられたりしています。前もって高速スピンさせておいた原始地球にうまく原始惑星をぶつけると、地球からけっこう月の材料がバラまかれる場合がある。でも、そこまでしないといけなのだろうかと思っているのですけど、近場の物質といえば……。

山本 近場って、どれくらいの距離までのこと？

水谷 僕もよく分からないですけど、まあ、常識的に考えると火星軌道よりも内側で、金星軌道よりも外側で大丈夫ではないでしょうか。

山本 力学的にOKですか？

小久保 大丈夫ですけど、酸素同位体の研究者はあまりにもそっくりだと言っています。(笑い)

倉本 他の同位体もよくあうのです。

山本 酸素以外にも？

倉本 昔は測れなかったのだけど、最近、測れるようになってきて、それで見てもピタッと一致している。

山本 どれくらいまで一致しているのですか？

倉本 誤差の範囲内で一致しています。

山本 火星軌道くらいだとダメだと言える？

倉本 火星隕石はけっこうずれているのです。

水谷 火星隕石は違う。

倉本 オーディナリーからすべて外れているのです。なぜか一番ピタッとあうのはエンスタタイト・コンドライト(Enstatite chondrites)なのです。

水谷 それは昔から地球に近いと言われている。

山本 地球ができたところにエンスタタイト・コンドライトが地球の軌道付近にいる理由に必然性がありますか？

倉本 それも結構、悩ましくて、エンスタタイト・コンドライトは酸化鉄を含んでいないので地球のマントルを説明できないのですよね。

山本 地球の一部から月ができたと考えるのが、物質科学的には素直ですか？

倉本 物質科学的には素直ですね。

小久保 巨大衝突説を説明している本には、衝突によ

って地球の破片が散らばってそれから月ができた、とよく間違いが書いてあるのです。でも最近はそのあながち間違いではない、というふうになってきている状況です。(笑い)

■「ペネトレーターは日本の独創的な技術」

山本 ペネトレーターは日本の独創的な技術。いままで惑星探査は、アメリカとか世界中でやられてきたけれども、表層と大気とプラズマしかやってきていないですよ。惑星の大部分を占めているのは内部なのに、内部構造に手が届いていない。ペネトレーターは、それをやる現時点では唯一のインストルメント、日本の独創的な技術だと思うので、本当は惑星コミュニティーの人がペネトレーターを使ったミッションをやれやれとずっと言うべきだと思います。

はしもと 何をやったらいいと思いますかと聞かれて、僕はペネトレーターと言ったのです。本当にそれは山本さんが言うように素晴らしい技術で、問題は1回やって、動くということを見せるというのが大事だと思うのです。

山本 現時点がそうだと思いますよ。だから、もっとそれをやるべき。最初は失敗するかも知れない。そういうものなのだと、みんな理解した上でやるべきなのです。ペネトレーターについては実際、海外の方が注目していて、例えばイギリスとか、いくつかプロポーザルがある。日本人がなぜ、特に惑星業界の人がなぜそれを評価できないのか、非常に残念。

はしもと 問題は上がっていないからではないですか？ 華々しく失敗していたら、誰も文句を言わなかったと思うのですよ。だから上がらなかったのがいけないのだと思うのですよね。1本では震源が決まらないと言わないで、1本でもいいから打って、うまくいっても、うまくいかなくても1本打っておけばよかったと思うのですよね。

山本 それには反対だ。そういういい加減なのはダメだと思うよ。長い目で見た時に非常に悪影響を及ぼす。失敗でもいいからやってみようはダメだと思う。

はしもと 成功させるために努力するのは当然のことです。まずはやってみないと始まらないと思うのです。

山本 いきなり本番でやる必要はない。

水谷 それは地上試験で確かめられるはずだね。そ

れを確かめようとして時間がかかったということだね。完成して、地上試験して、ほとんど大丈夫でしょうという段階になれば、やるべきだと思う。そういう方向でいまは時間がかかっているけど、そのようなミッションがこれから認められるかどうかは別の問題。

はしもと 1本打って動いたら、いいと僕は思うのです。とにかく動いたら大丈夫なのではないでしょうか。

水谷 それだと工学ミッションとして、ペネトレーター工学試験ミッションというようなものでやればいいけど、それは理学のミッションの目標には適わないか。LUNAR-Aの元々の目標には適わなかったと思う。だからLUNAR-Aとは別にペネトレーター試験ミッションという性格のミッションとすれば、それはそれで意味があると思う。

林 途中で切り替えられなかったのでしょうか？

水谷 切り替えられなかったのだな。なぜかというのを衛星を3機載せるようになってから、設計を変えるようなことはものすごく大変。後戻りするというのは、ものすごく労力とお金が必要だけれども、それができなかったということが、悪かったかもしれない。

山本 ペネトレーターの技術開発に携わったわけではないので詳しくはよく分からないですけど、ある意味、未知の環境。前もってある程度は予測できるけれども、それでも100%は予測できないような技術だったと思うので、結果論になるかわからないですけど、そういう要素があるのだということを、今後、若い人が惑星科学、惑星ミッションをやるとき、そこは是非、知っておいてもらいたいと思う。つまり、本当にチャレンジングな技術というのは未知の要素がいっぱいあるはず。はじめから分かっていたらチャレンジでも何でもない。宇宙科学ミッションとしては未知の要素を残したようなプロジェクトとして進めていかないといけない。いまその余裕が全然なくなって、逆方向に向いている気がしますけど。

水谷 LUNAR-Aの試験装置がなかなかできなかった。その代替の方法を考えて進めたので、かえって時間がかかった。まあ、誰も考えたことのない、やったことのないミッションで、試験設備までも作らなければいけないというミッションはいままでなかった。そういう意味ではちょっと難しかった。

はしもと 話を聞くと工学ミッションにしておくべきだったのではないのかなと思うのですが。

水谷 そのころの理学委員会(宇宙科学研究所)では、これを工学ミッションにしても理学ミッションにしても結局、ペネトレーターを打つのだらうからミッションとしては同じ。だから僕らは、工学ミッションと言おうが、理学ミッションと言おうが同じですと言われた。工学ミッションだからいい加減でいいというわけではなくて、結局は同じことなので、工学ミッションでも理学ミッションでもどちらでもよかったですね。

はしもと 工学ミッションならば1本でよかったわけですね。1本だったら、もうちょっと楽だったというようなことはなかったのでしょうか。

水谷 1本成功するのと3本成功するのと、確率が3分の1という、そんなものではないと思う。3分の1の確率しかないようなものを打つわけにいかない。

はしもと 僕はそこが理解できなくて、チャレンジングなことをしているのだから失敗する確率は必ずあると思うんですけど、失敗する可能性のあるものなんか上げられる訳ないという意見もあって……。

山本 そんないい加減なことをやってはダメですよ。

はしもと いや、いい加減ではなくて、一生懸命やっても失敗することは必ずあると思うのですよ。

水谷 壊れる確率が10分の1もあつたら宇宙研のミッションとして認められない。

はしもと 絶対、全部のことなど分からないのだから、思いもしなかったことで失敗して、失敗した後で、何でこんなことに気が付かなかつたんだらうということとは絶対にあると思います。

山本 だったらいいよ。

はしもと だから、失敗しなければ分からないことがあると思うのですよ。

水谷 十分、地上で試験して、これならばたぶんもう、失敗はないなと思って打って、初めて、あ、見逃していたところがあったなというのであれば、認められるとは思いますが。地上試験で5回打って1回しか成功しないようなものだと誰も認めてくれない。5回打って3回成功でもたぶん認めてくれない。

はしもと 5回やって3回成功で、2回の失敗の理由が分かれば次にやるときは直すことになる訳ではないですか。

水谷 直すことになる。だから直してから打てということになる。結局、同じ。直せば5分の3の成功が、5分の4の成功になることが分かっているのであれば、

直しなさいということになる。5分の3の成功の確率では打つなど、これは当然の判断だと思う。

はしもと いや、でもやはり僕は1回でも、データがほんの少しでも取れたらいいと思うのですよ。取れたらもう1回やろうという気になるじゃないですか。

山本 例えば3本打って、たまたま1本、刺さったとして、何も分からない。サイエンスではなくて工学的にも何も分からない。たまたまそういうことになったということは、何も分かっているということと同じです。次に活かさない。考えられることを100%やっても、失敗は起こるのだから。

はしもと チャレンジングなことをしているのだから失敗することもあるということではないですか？

山本 やるべき試験は全部やって、全部尽くしておいて、それでも失敗がでるのだから。それがホントの失敗で、可能性を全部、潰しておかないとダメですよ。

■「ペネトレーターの数を増やしたら」

水谷 目に見えるぐらい失敗する確率があるものは誰も認めてくれない。やる側も、絶対、失敗しそうもありませんと自信持って言えないと、なかなか、ミッションをやらせてくださいとは言えない。

山本 それを乗り越える1つのやり方としては、数だと思うのですよ。数って、どういう意味かという、1回のミッションで、極端なことを言うと100本のペネトレーターを打つことができますよという議論になると、議論の質が変わってくる。

谷川享行(北海道大学特任助教) 3本ではなくてね。

山本 100本でそのうちの70%成功したらどうですか？ ということだったら話は違うし、それは別の議論になる。質的に変わる。

谷川 100本だと当たり前ではないですか。10本だとどうですか？

山本 そのときの状況による。つまりほかのミッションとの比較による。複雑な問題になる。

白石浩章(宇宙科学研究所助教) 10本のうち7本は月面に均等にばらけられるのだったら。

山本 だったらいい。それだったらOKだね。サイエントフィックな成果がだせるのだったら。

会場から 4本だと4本全部成功しないとすべての地震のパスをカバーできないのですが、7本あればほぼ

全部カバーできます。

会場から リスクを含めても100%サイエンスは成功するということですか。

会場から そうです。

山本 アイデアというか、僕が勝手に言っているだけだけれども、ペンシル・ペネトレーターをやれば良いと思う。ペンシルまでいかななくてもいいですよ、(両手を50 cmぐらいの幅に広げて)これくらいでも、いまよりも軽量化して小型にして、その代わりに数を増やすようなことができると、それはいま一番やるべきだと思いますね。そうすると内部構造、地震だけでなくもいいし、ほかにも、もっとできることがあると思う。むしろ惑星コミュニティーで小型ペネトレーターを複数個、何個か、3個以上とか、というようなミッションが可能だとしたら、どんなサイエンスが面白いだろうかとみなさんと考えるべきだと思う。

山本 僕の持論なのですが、月着陸探査機SELENE-2の他の搭載機器すべてやめてしまって、ペネトレーター・ミッションをやったらどうですかと言っているのです。

小久保 いいと思います。

山本 そのときにペネトレーター1本ではだめで、複数個やりたいわけですね。複数個やるときに重量の問題がでてくるので軽量化が必要、CPS(惑星科学研究センター)の放談会とかで、TV会議で毎週でている話題ですけど、そのときにいまよりも軽いペネトレーターを現在のペネトレーターから作るのは難しいだろうかと、そのときまたま田中智(宇宙科学研究所准教授)君がいたので聞いたら、彼は簡単ですと言ったのです。すごく、嬉しいというか、何というか、それを白石君どう思う？

白石 いまその開発の提案書を準備し始めています。

山本 軽量化できたらすごくいいのですよね。

白石 そこができるかどうかのフィジビリティスタディを半年ぐらいでやるという提案書です。

小久保 あり得るということですか。

白石 あり得るので、一応、検討を始めました。

小久保 おーすごい。

山本 すごいですよ。そうすると、さっきみたいな統計的な、確率的な議論ができる。10本のうち7本だったらいいですか？という議論ができるわけですよ。そうすると、はしもとじょーじ君が言ったような確率的

な議論ができる。

水谷 小型ペネトレーターは電池の課題がある。ペネトレーターは自分で電気を持ってはいけなからね。太陽電池で供給するというわけにはいかない。LUNAR-Aは中に1年分の電力が入っている。それがペネトレーターのサイズを決めているようなもののだといえる。地震計もあるけれども、地震計のサイズは小さなものだから、大部分が電池。電池のサイズをいまの半分にできるというレベルではまだない。だから難しいと思う。ある意味ではね。

白石 それも含めてトータルでやります。

水谷 寿命を短くするとか、いろんなことを考えて、バッテリーのサイズを小さくするとかそういうことを考えようとしているのかな？

白石 運用で逃げるかですね。電力はほとんど通信で使っているの、通信機会を減らせばいいので、そのあたりをトータルで考えることが検討課題です。

会場から SELENE-2にペネトレーターを積めるだけ積めるとしたら、何本ぐらい積めるのですか。

水谷 voudらうね。

白石 たぶんオービター2機で8本ですね。

参加者一同 お——。

山本 それが僕の言っているプロポーザルです。ほかのインスツルメントをやっている人は怒るだろうけど。

白石 オービターにけっこう載せられます。残ったオービターに載せられる。

■「地球人と宇宙人がいるからいい」

山本 惑星科学の人と喋っているとよく感じることもある。いい加減なことよくやるなと思って、ミッションだけではないですよ。研究に対しても、そんないい加減な研究やっていいの？というのがある。惑星業界一般にそうですが、宇宙人と地球人がいるというのが僕の持論です。宇宙人と地球人のギャップはやはり大きい。宇宙人、地球人というのはどういう意味かという、オリジンの違い。大学院でどういう教育を受けてきたかという点です。惑星科学はフロンティアで、フロンティアというかバウンダリーと言った方がいいかな。両種の人種がいることで、いい業界なのですよ、ある意味では。面白い業界で、そこに文化摩擦が生じていて、科学自体を発展させるエネルギーになると思

うのですけれど、溝はなかなか埋まらない。林さんと倉本さんとか、いろいろな人と議論した話なのだけれど、中川(義次・神戸大学教授)さんは宇宙人、僕も宇宙人なのですけども、林さんと倉本さんは地球人。考え方、発想がまず違う。水谷先生は丁度、中間人ですね。(笑い)

参加者一同 中間人？

山本 出自は地球人なのだけれども、発想が宇宙人。発想というか考え方が。

水谷 そうかね。

山本 若い人に言ってもピントこないかもしれないけれども、僕らの世代だと、元々、惑星科学という学問は日本にはなくて、水谷さんとか中沢(清・東京工業大学名誉教授)さんとかが中心になって作られたのですけど、そのときに兩人種が混在した国家になった訳ですね。それで文化摩擦が起きたときにどのように進化するか。もちろん学会としては同じ学会の中にいるのだけれど、それぞれ分かれて、仲間同士でやる、仲良しクラブでやる、それはそれでコンファタブルだと思う。だけれど、それでは学問は発達しない。僕の持論は、もっと喧嘩するべきで、学問的にシビアな議論をやらなといけないのです。僕らの世代からするとそれは避けられているような気がする。そういう喧嘩をやりたくない、折角の平和な世界を乱したくないという意識かな。日常的なことでつまらん喧嘩してもしようがないが、学問的にはもっと喧嘩するべき。それが欠けているという気がする。すごく感じるころ。しかし、それがないと今後の惑星科学はないような気がするね。

林 話が細かいと喧嘩しにくいよね。

山本 話が細かいというかね、そこが違って、細かい話をするのではなく、新しいところを目指さなといけない。

水谷 それはそう。

山本 系外惑星はその1つだけれども、何か細くなっている。ここは是非、小久保さんの意見を聞きたいな。系外惑星の現状を、そういう観点から見たらどうですか？

小久保 まあ、確かにそうですね。

山本 世界中でやっていてね。

小久保 世界中でやっていて、いろいろな人が入ってきていて、いろいろ細分化しているという、そういう時代ですね。

山本 ゴールがみんなわりと一致していて、例えば、観測的には地球を探そうというような大きな目的、生命とかね。考え方は同じ。僕は学問的にはちょっとまづいと思う。別のことを考えている研究者がいないと、次が出てこないかなと思うのですけど。

水谷 系外惑星の人の見方からすると、観測して予想のつかないものがでてきて、そこから新しい芽がでてくるのではないかと考えているところもあると思う。

山本 観測をしている人はね。

小久保 系外惑星を見て、他者を見て自分を知る。太陽系のことを見直す機会になると思います。それがものすごく重要だろうという認識はあります。

水谷 認識はね。ただ、まだ、跳ね返ってきていないところがあるような気がする。

小久保 まだ十分に跳ね返ってきていない。太陽系もホントは大事なのに、太陽系のことまで手がまわらない。太陽系の起源もそうなのですけど。

水谷 どのように太陽系が形成されたのか、まだまだ完成した理論ではありえないのに。

小久保 全然、完成していないのですけど。

林 形成には跳ね返ったのでは？

小久保 まだこれからですかね。形成の素過程で太陽系ではこれまで考えられてこなかった大事な要素があるとか分かってきました。

林 けれど、内側に大きい惑星が存在するというの観測する前から自明だったのですか？

小久保 自明ではないです。誰もそんなことは考えていなかった。

林 そういう意味ではフィードバックがあったわけね。

小久保 はい。

林 惑星がマイグレーションするということは、普通は起きていることなのだということはフィードバックだったのではないの？

小久保 そこはそうですね。惑星が動くこと自体、予測されることなのですが、太陽系でそうしたことが起きていないように思われるので目をつぶっていた、あるいは、ないことにしていたということでしょうか。

林 動くこと自体、1970年代から分かっている。

小久保 系外惑星が注目されていますが、太陽系を疎かにしてはいけないという気がします。小惑星帯がなぜあそこにあるのか、というのですら答えられないし、なぜ太陽系では惑星が動かなかったのかとか。

Niceモデルのように小さく作って大きく広がるとい
う考え方もありますけど、もちろん、太陽系が系外惑
星の発見で、多数の惑星系の1つであるという認識に
なりました。この太陽系が普通かどうか分からない、
特殊かもしれない、それはこれから観測が答えを出す
という時代になっている。でも、やはり太陽系があっ
て地球があって、自分たちにつながっているの、こ
こは大事に理解しないといけない、もう少ししっかり
研究しないといけないのではないかと、最近、僕はよ
く思っています。系外惑星で、何か不思議な系があっ
て、これがこうやってできましたといわれても、いや
いや、それよりも自分たちの家のことをもっと知ろう
と、そのように思ったりもします。

山本 精度という面で系外惑星と太陽系の惑星探査は
違う。太陽系は非常に細かく、微に入り細に入りで、
例えば、小惑星探査機はやぶさが取ってきた粒子はミ
クロンサイズで、そのギャップがすごいのですよ。ど
のようにコンプロマイズすればいいですか。

小久保 難しいですね。面白かったのは山本さんの宇
宙人と地球人とおっしゃっていたのは、まさにそうで、
僕も宇宙人、宇宙の出身なので、物理のやり方が違う
ところがあります。

山本 それぞれ。

小久保 オーダーエスティメートして、例えば、その
……。

田中秀和(北海道大学准教授) いやいや、それは非常
に一方的な言い方なので、宇宙人の方からばかり言っ
ても仕方がない。宇宙人が勝手に地球人だと言っても
仕方がないような気がします。

山本 まず、宇宙人とは何ですかというのが小久保さ
んの説明で、その後に林さんから地球人とは何ですか
と聞きたい。

小久保 国立天文台の観山正見前会長は、東大の阿部
(豊・東京大学准教授)さんとか松井(孝典・東京大学
名誉教授)さんのことは自分たちの仲間だと思ってい
たりする。宇宙人だと思っている。だけど、そう思っ
ていないわけですよ、本人はたぶんきっと、自分は地
球人だと思っている。

山本 林さんの地球人の定義は何？ 僕が一番感じた
のは、CPS(惑星科学研究センター)とかグローバル
COE(国際的に卓越した教育研究拠点を形成するた
めのプログラム)をやったのは、その申請書を書

くときの目的、地球人は惑星科学をやる、惑星いろ
ろ、系外惑星含めてだと思いうけれど、目的はそう
な天体の研究をして地球を理解するのであると、そこ
に戻ってくる。それが地球人の僕の定義なのです。

林 僕、そんな風に書きました？

山本 書いてないけど、よく議論したときにそれを言
っていた。宇宙人から見たら地球なんて宇宙全体から
みたらありふれた惑星で、決して特殊ではないという
発想。地球を理解するために惑星を研究している訳で
はないのが宇宙人で、地球を理解したいという目的で
やっているのが地球人。研究目的が違うのです。

水谷 どちらかというと地球人だな。(笑い)

■「Eロケットで何を研究するか」

山本 惑星業界はどうするかといったときに、惑星探
査が大きなテーマになっている訳だけれども、一方で
大きな流れとして系外惑星がある。両方あって、も
ちろん、直接には関係してはいないですよ。惑星科
学全体を発展させるときに、どのように、無理にリン
クさせるというフェーズに入っていないと思うけれど、
そういう視点は持つておくことが大事だと思う。

田中 宇宙人だけでやっているだけでは関連付けるこ
とはもうできない。

山本 両方必要なのです。

田中 地球人のいいところをうまく利用することが、

山本 そこが惑星科学のアドバンテージなのです。そ
れを言いたい。両人種がいるところが非常にアドバン
テージで、そのアドバンテージをどう活かすかという
ことを、惑星業界が一番考えるべきことだと思ってい
る。このような業界は他にないので、非常にユニーク。
いまのところ、そのアドバンテージがあまり活かして
いない。そういう意味で、系外惑星と惑星探査がパラ
レルで走っているということは、このアドバンテージ
を活かす環境が熟成されつつあるのではないかと思っ
ています。それをもっと積極的にプッシュできれば、
する方法があれば非常にいいと思う。

山本 研究テーマを選ぶときに、エスタブリッシュさ
れた分野でペーパーを書くというのは、それはそれで
いいことなのだけれど、海のものと山のものと分
からない、怪しげな分野に首を突っ込んで研究する
というのも1つのやり方があります。大抵、失敗するこ

とも多いのですけれども、当たれば大きい。

林 iPS細胞ですね。

山本 過去の科学の歴史を全部知っている訳ではないけれど、そういうところで新しいブレイクスルーが生じてくることが多いというのは間違いない。昔の歴史書を読むと、失敗した人のことはでてこないで成功した人のことしか書かれていないから分からないのだけれど、その100倍か、1000倍か知らないですけど、失敗例はいっぱいあるはず。そうしたことをしないと新しいことはでてこない。

林 しかし、それは、誰も研究していないから、研究するということではないのですよね。

山本 研究したい人がやるのです。そういうことを研究する人がいることが大事。

水谷 勝手にやるのだよ。

山本 いることが大事。

林 いるの？

山本 いるのは、もちろんいるのだけど、その人をエンカレッジしないといけない。つまり、その人が例えば研究費がないとしたときに、つぶれてしまう。ポストにもいられない。普通は、つぶれるのです。

水谷 そういう意味では非常に難しい時代。

山本 そのときにそういう、ある種、目利きの人がいて、そういう人をエンカレッジする、大規模にはもちろんできないですよ。ですけれども、次のブレイクスルーをもたらす上では大事。

林 1980年代は、アメリカから日本に人がきたときに何て言われていたかということ、「日本はうらやましいですねと、予算に汲々としていない」と言われた。単に貧乏だけだったということだけれど。

山本 1980年代は宇宙科学、スペースサイエンスで言うところの日本の黄金時代ですよ。それはNASA(米航空宇宙局)でも羨ましがられていた。あの当時、アメリカは何をやっていたかということボージャー1号、2号を打ち上げるなど大艦巨砲主義で、日本は1986年に、M-Vロケットで打ち上げた探査機さきがけとすいせいで、初めてハレー彗星を探査した。これが最初の日本の惑星探査ミッションです。その当時、ほかにX線とかやっていたのですよね。1980年代中ごろ、惑星科学、宇宙研に水谷先生がこられて、ほとんど同時に奥田(治之・宇宙科学研究所名誉教授)先生もこられてスペースインフラレッド・アストロノミーが始まる。

あの当時はいまから思うと黄金時代です。海外からも、そう思われていた。そのときの日本の宇宙科学が標榜していたこと、キャッチフレーズは、アメリカの理論物理学者フリーマン・ダイソンの言葉で言うと"Quick is Beautiful", それから"Small is Beautiful"です。"Small is Beautiful"はアメリカがやろうと思えばできたのかもしれないが、"Quick is Beautiful"は要するに頻度を上げる、小型でも毎年打てるとかね、そういうものだった。今は日本もNASAのようになってきていて10年に1発しか大型ミッションをできないようになってきているけれど、アメリカは当時、まさに大艦巨砲主義だった。

はしもと ボイジャーだけしか打っていなかった訳ではないですよね？ ボカボカ打っていたと思いますけどね。アメリカ人が日本を羨ましがるなんてありえないと思いますけどね。

山本 予算が違うからですよ。ダイソンの言葉には半分ぐらい、お世辞が入っていると思うけれど、本音も入っていると思います。

はしもと その後、NASAのディスカバリー計画(惑星探査計画)が始まってからはアメリカもボカボカ上げていましたよね。

山本 あれは日本の真似。

水谷 ディスカバリー計画は完全に日本の真似。毎年1機、必ず打ち上げるということを宇宙研はやっていました。アメリカ人から羨ましがられていたのは確か。5年で各分野に順番が回ってくるから、要するに大学院生が博士論文を出して1つのミッションが終わるという感じだから、5年周期で回ってくる。ところが予算がないし、惑星、赤外線、電波とテーマが増え、具は沢山あったけどパイが増えないから段々、打ち上げる頻度が下がってきたというのが現状かな。

山本 ある意味、お金で解決する問題。

水谷 宇宙研に毎年200億円ずつ予算がつけば、定期的に打ち上げることができたのだけれど、200億円の予算を獲得できなくなってきた。それが宇宙研の困ったところですね。日本の惑星科学にとっては、少なくとも1年に1機打ち上げるというのを堅持できると思うのだけれど、それができなくなってしまったのが辛い。

山本 CPS(惑星科学研究センター)の放談会などで、H-IIロケットに比べれば圧倒的に打ち上げ重量は少な

いですが、Eロケットは比較的安く打ち上げ頻度を上げられるので、Eロケットで何ができるのかが惑星科学コミュニティに問われている大きな問題であると最近、よく議論しています。

はしもと 無茶があると思うのです。Eロケットでできることで、世界があつと驚くようなことをしろと言われても、それは無理だよと思うのですけど。

山本 それは間違っているといいたい。そういうときこそ頭を使わないといけない。大きなミッションと違って、限られた予算でどれだけのことをできるのか、工夫を凝らさないといけないところです。総合的なことはやったらだめですし、できないですよ。一点突破を狙う。要するにゲリラ作戦をやるようなものです。果たして何をやるか。やることはいっぱいあるのだけれど、それで何を狙うのか、それをどのように鋭くしていくのか。そこが一番、惑星業界がいま考えるべき問題です。カネがあつて大艦巨砲主義でいくことができれば、それは一番、楽なことです。だけど、いま惑星業界でやらなくてはいけないことは、限られた予算で、限られた重量しか上げられないときに、何が一番重要なことなのかを考え、それを具体化するところまで持っていくことです。それは、ある意味、研究そのものなのです。惑星科学コミュニティが、これからどうしていくのか真剣に考えないといけない時期にきていると思います。