

科学の
峰々

91

取材日：2016年12月13日
東京科学機器協会会議室

日本人初の女性宇宙飛行士 東京理科大学 副学長 医師・医学博士

向井 千秋 先生 に聞く
宇宙科学の進歩が切り開く
地球と人類の可能性 下

聞き手：南 明則 日本科学機器協会 広報副委員長
 高橋 秀雄 同 広報委員
 夏目知佳子 同 広報委員
 藏満 邦弘 同 専務理事
 岡田 康弘 同 事務局長
 (取材・撮影・編集協力：クリエイティブ・レイ(株) 安井久雄)

向井 千秋 先生のプロフィール



- 1977年 慶應義塾大学医学部卒業。医師免許取得。(医学博士)
- 1977年 慶應義塾大学医学部外科学教室医局員。
- 1985年 NASDA (現JAXA)より、日本人宇宙飛行士の第一期生に選ばれる。
- 1992年 毛利衛さんが日本人で初めてスペースシャトルの宇宙飛行士を務めた時の第1次材料実験で、地上からの管制業務を遂行。
- 1994年 日本人初の女性宇宙飛行士として、スペースシャトル・コロンビア号に搭乗。宇宙で82テーマの実験を遂行。
- 1998年 自身2度目の宇宙飛行。ジョン・グレン宇宙飛行士らと共に搭乗。微小重力環境下でのライフサイエンス及び宇宙医学分野などの実験を実施。
- 2000年 STS-107ミッションのミッションサイエンティストの副官 (Deputy Mission Scientist) に任命。
- 2004年 国際宇宙大学 (International Space University: ISU) の修士コース客員教授に就任。
- 2005～07年 国際宇宙大学の教授として、国際宇宙ステーションでの宇宙医学研究ならびに健康管理への貢献を目指した教育を行う。
- 2012年 JAXA宇宙医学研究センター長に就任。
- 2014年 宇宙開発利用部会 国際宇宙ステーション・国際宇宙探査小委員会 委員に就任。
- 2015年 東京理科大学 副学長に就任。



©JAXA/NASA



日本が宇宙開発で 先駆者にもなりえる 「可変重力」の研究分野

— 向井先生が宇宙飛行をされた1990年代当時は、宇宙開発の途上国だった日本ですが、それから20年以上が経った今、日本人が国際宇宙ステーションの船長を務めるなど大きな役割を担うようになってきました。

そんな日本が、宇宙のライフサイエンス分野で世界をリードできるとしたら、どのようなことでしょうか。

向井 日本が世界と闘えるとしたら「可変重力=バリエアブルG」の分野だと思います。宇宙での研究をリードしてきたアメリカやロシアにはゼロGというか、マイクログラビティの条件での研究が膨大にあります。「重力がなかったら人や生物はどうなるのか?」ということですが、それは既に分かってきたことが非常に多く、同じ土俵で日本が今から先を行くのは相当難しいと思います。しかし、可変重力の分野は、現時点において研究のスタート地点がほぼ同じなのです。

— 「可変重力の研究」というのは、色々な重力の条件で現象を解明していくということでしょうか。

向井 そういうことです。無重力の条件下でどんなことが起きるか分かってきた次に、研究者が思うことは「この反応が起きるのに重

力はどのくらい必要なのか?」という閾値(=限界値)を探り出すことなのです。一例をあげると、重力がない宇宙では重さによる対流が起きないため、たんぱく質のきれいな結晶が出来るといわれます。では、きれいに結晶が出来るのは0.1Gなのか0.2Gなのか0.3Gなのか…といったことです。

— 「可変重力の実験」は、宇宙でしか出来ないことなのでしょうか。

向井 重力の条件を変えられるのが、宇宙の軌道上にある実験室の最大の強みなのです。つまり国際宇宙ステーションの実験室です。地球では1Gからスタートなので、1Gより高い重力の条件は作り出せませんが0.9G以下は作り出せません。そもそも人間や植物などの生物が今のような生態になっているのは、

たまたま地球の1Gという条件の中で淘汰されて、一番いいものが残った結果にすぎません。実際に宇宙でバクテリア(細菌)の成長を調べると1Gの場合よりも成長が速くなる現象が見られます。

そうしたことを人間の成長に置き換えて考えると、例えば、人が成長する過程では筋肉に神経が入り込んでいきますが、これは重力という刺激があるから起きると考えられています。それでは重力が変わるとどうなるのか、さらにどれくらいの重力が掛かると変わるのか、ということです。成長だけでなく生物の反射も変化するかもしれません。ネコは高いところから落ちてでも反射によってクルッと下を向いて着地しますが、そういったことも変わるだろうと思います。

そのようなことを思い始めると…「もしかしたら、私はスーパーマンなのかも知れない!」わけです。



1998年9月 向井飛行士が2回目に搭乗したスペースシャトル・ディスカバリー号と移動発射整備台
©JAXA/NASA

誰もがスーパーマンになれるかもしれない!

— 宇宙では、向井先生がスーパーマンかも知れない?!とは、どういうことでしょうか。

向井 私はよく拡大解釈をさせていただきます（笑）。今の私は、たまたま地球の1Gの条件で現れる能力だけが現れていて、実は秘めている能力が出ていない可能性があるのです。これは単に笑い話ではなくて、予感させるような面白い実験結果があるのです。

— 宇宙では、地球と全く違った能力が現れるというデータがあるのでしょうか。

向井 私が2回目に宇宙飛行をした時に、東北大学が行った研究で「キュウリの種を発芽させる実験」があったのです。結論から言うと、重力がある地球では発現すること

がなかったことが宇宙では現れたのです。

地球上でキュウリの種から双葉が出てくるときには、「ペグ」というコブのような突起が1ヶ所に出来ます。このペグが種皮を土の方におさえつける働きをしますので、双葉が上へ上へと伸びていけるのです。面白いことに、ペグは種を土の中に横向きに植えても、縦向きに植えても、ちゃんと種皮をおさえつけるように現れるのです。それを詳しく調べると目に見えているペグは1ヶ所だけど、突出するポテンシャルを持つ場所は4ヶ所あって、そのうちの1ヶ所だけからペグが出ていたことが分かったのです。ここまでは重力のある地球上での話です。

— そのキュウリの種を宇宙で発芽させると、どのようになるのでしょうか。

向井 地球上では1つしか出ないペグが、宇宙では2ヶ所4ヶ所と現れたのです。この現象もさることな

がら、どうしてこうなったのかというメカニズムがすごく面白いのです。

地球上で1ヶ所しかペグが発現しないのは「この場所のペグは出なさい」という命令ではなく、4ヶ所のうち3ヶ所に「この場所のペグは出てはいけません」という命令が出されているからだったのです。こうした、出せる能力を抑えるメカニズムを「ネガティブフィードバック」というのですが、地球上の1Gでは3ヶ所にネガティブフィードバックが掛かっていたのです。それによって3ヶ所には成長ホルモンが出ないようになり、ペグが発現しなかったわけです。しかし、宇宙ではそのネガティブフィードバックが掛からずに複数のペグが現れました。つまり「この能力は発揮されなくていい」という命令がなくなってしまったわけです。

私はこの現象を「もしかしたら、自分の体もそうかも…」と自分に置き換えてしまうわけです。出せる潜在的な能力はもっているのに、地球上の1Gでは「出してはいけな



1994年7月 1回目に搭乗したスペースシャトル・コロンビア号の船内で水生動物試験装置前に立つ向井飛行士 ©JAXA/NASA



1998年10月29日 向井飛行士が2回目に搭乗したスペースシャトル・ディスカバリー号の船内で植物実験を行う向井飛行士 ©JAXA/NASA

産学官との連携



1994年7月 1回目に搭乗したスペースシャトル・コロンビア号の船内でカセットに入った「かいわれ大根」を手にする向井飛行士 ©JAXA/NASA



2003年 ジョンソン宇宙センターにてSTS-107地上支援シミュレーションに副官として参加した向井飛行士 ©JAXA

い」というネガティブフィードバックが掛かっているために現れていない能力があるかもしれないというわけです。

— 宇宙では、誰もがスーパーマンのようになれるかもしれないですね。

向井 そう思うだけでも夢が広がるでしょう（笑）。しかし、このネガティブフィードバックが掛からなくなるというのは、重力が完全に関係しているわけです。

これに類する研究は、私が宇宙に行った時も目の当たりにしました。無重力で植物（かいわれ大根）の根がどう伸びるのかという実験です。人間は重力がある地球で平衡感覚を保つために「耳石」という器官がありますが、植物も根の先の方に重力を感知する場所を持っています。地球ではその働きがあるために地球の中心、つま

り重力が働く方向に向かって伸びていくのですが、宇宙ではそれがてんでばらばらの方向に伸びるのです。そこで、この現象がどれくらいの重力を境目に起こるのかを調べてみると0.2G～0.3Gの間くらいで、ばらばらの方向に伸びていた根が揃って同じ方向に伸び出します。日本ではこうした「可変重力の研究」がブレイクスルーできる分野になると思います。

実はこのような可変動が解明されていくと、IPS細胞などと組み合わせることで、再生医学がすごく進歩する可能性があるのです。もしかしたら、何らかの病気で失った機能を補ったり、代替する能力が微少な重力のもとで現れるかも知れません。また、そういった機能を補填する治療が出来るようになるかも知れません。そうすればリハビリなどがすごく効率的に出来るようになるでしょう。

実は、3回目以後も チャンスがあった宇宙飛行

— 向井先生は宇宙に2回飛行されたわけですが、また宇宙に行きたいと思いませんか。

向井 もちろんです。実は3回目の宇宙飛行は具体的な視野に入っていました。2003年の頃、私はスペースシャトル「STS-107ミッション」で、地上のミッションサイエンティストの副官をしたのですが、その次の飛行で宇宙に行ける見込みが出来ていたのです。

— スペースシャトルの飛行計画は2011年迄ではなかったのでしょうか。

向井 その通りです。宇宙ステーションも既に建設中だったのです

が、アメリカでは宇宙ステーションの建設のためだけに宇宙飛行をするのではなく、もっと科学実験を行うべきだという方針でした。

私が地上のミッションサイエンティストの副官を行ったのも科学実験のための飛行目的のひとつでした。副官の仕事は簡単に言うと、スペースシャトルで行う実験の科学監督として24時間のうちの12時間を務めるというものです。シャトルでの活動は昼間と夜間の両方行われますが、昼間の12時間をNASAの指揮官が担当し、夜間の12時間は、私が科学関係の指揮やとりまとめを行います。具体的には実験のタイムラインを調整したり、実験の種類によって登場している飛行士の専門性や訓練の習熟度を考えながら人員を配置したり、科学関係全般の指揮をとります。そこで科学実験はすごい成果を上げることが出来て、みんな大喜びのうちに終えることが出来たのです。

私はこの役を果たし終え、そして、アメリカの議会も方針を決めていることだから、次の飛行で宇宙に行けると思っていたのです。ところが、そのスペースシャトルが地球に戻ってくる時に悲劇が起きてしまったわけです。

—それが「コロンビア号」事故ですね。その事故でアメリカの宇宙計画が変わり、3度目の飛行は白紙になってしまったのですね。

向井 私は事故を知り本当に呆

然としました。訓練などで見知っていた人ばかりでしたから、何とも言いようがないものでした。NASAのコントロールセンターには大勢の人が集まり、あちこちですすり泣く声が聞こえていました。

そして、その後のスペースシャトルの飛行がどう変わったかというと、国際的な公約で宇宙ステーションを完成する期限が決まっていたので、その組み立てのための飛行にならざるを得なくなったわけです。ですから、私が見込んでいた飛行はなくなってしまいました。

そもそもスペースシャトル時代の日本は、アメリカのNASAから搭乗員の席を1つ開けてもらうような立場でしたから、日本人が何人も何回も宇宙に行くということは難しい状況があったことは確かです。

魔法使い!と思った父親が見せてくれた不思議の世界

—お話を伺っていると、興味あることを「面白い!」と感じられる先生ですが、小さい頃から好奇心旺盛な子供だったのでしょか。

向井 私は群馬県の館林で生まれたのですが、子供の頃から跳んだりはねたり遊び回っていました。幼少期はスカートを履いているのに「お宅のお坊ちゃんは…」と言われて母が怒るといったような、とっでもおてんばな子供でした。5歳の時からスキーをやっていて、小学校5年生の時にどうしてもオリンピックに出たいから、いつでもスキ

ーが出来た山の学校に転校したいい、って大騒ぎしたこともありました。

—どのようなことがきっかけで、科学に興味を持たれたのでしょうか。

向井 科学という言葉も知らない頃に、父が「不思議だなあ…」と思うことをたくさん見せてくれたことが基本にあるように思います。

父は東京から館林に疎開して来た中学校の理科教師でした。父は日曜日などを利用して、授業で見せる理科実験の準備をしていました。私が小さい頃は、父について実験室に遊びに行っていました。そこで父が私に色んな実験、といってもすごく簡単なものですが、液体と液体を混ぜたら沈殿が出来たり、リトマス紙をつけたら色が変わったり、電気分解の実験をして液体に電極をつけたら豆電球が光ったり…といったようなことを見せてくれるのですが、それをすごく不思議に思っていました。その時、父は本当に魔法使いだなあ…と思っていました。

—遊び感覚で科学への興味が芽生え、楽しさの中で不思議がいっぱいの世界に引き込まれていたわけですね。

向井 今のようにおもちゃがたくさんあるわけじゃないし、自然の中で遊んでいるうちに興味を抱いていたのでしょうかね。そういえば何かの付録だったと思うのですが、父がボール紙と虫眼鏡を組み合わせ

産学官との連携

て作ってくれた顕微鏡みたいなもので、葉っぱや池の中を見ると、葉脈だとかミジンコなどが大きく見えて、すごく楽しかったことを覚えています。

— 日本の理系の人材育成や理科教育の現状について、先生はどのようなお考えをお持ちでしょうか。

向井 子供って不思議なものに目を輝かせて、なんで? どうして? と思うものですよ。理科教育はそうした不思議だなぁ、と感銘を受けるようなきっかけを与えることが大事のように思います。しかし、現状は限られた時間の中で教師の負担は大きく、カリキュラムをこなさなければならない問題がありますね。父が私にやってくれたように、実験をとおして「わあ、びっくり」と思うような機会を学校教育、家庭や地域の中でもっと作れないかと思っています。

教育は自分の夢をかなえ 自己実現出来るツール

— 宇宙医学やライフサイエンスをはじめ、宇宙全般のことを、次世代に伝える活動についてお聞かせいただけますか。

向井 コロンビア号の事故の後、2004年から2007年はフランスのストラズブルグにある国際宇宙大学で宇宙での運用やライフサイエンスを教えていました。

日本には2007年に戻り、JAXA(宇宙航空研究開発機構)に宇宙医学の研究室を作りました。次の世代に何かを伝える、教育を行うことは、私が飛行士として宇宙に行ったときから、その役割の重要性を強く感じてきたからです。

— 向井先生はスペースシャトルから日本に向けて、「短歌」を募集されるなど、宇宙からの教育活動も多岐にわたって行われましたね。

向井 「宙返り 何度も出来る無重力」に続く下の句を、あなたなら何と詠みますか、と呼びかけたものです。そういった宇宙から地球の子供たちに授業を行うという考えがNASAでは早くから進んでいました。「エデュケーショナル・アストロノート」と言って教育を専門とする宇宙飛行士もいます。それは、別に大学教授のすごい学者ではなく、小学5年生レベルの理科が教えられる先生です。日本でもそういった柔軟な考えが進めばよいと思います。

— 2015年の春から東京理科大学の副学長に就任されました。理科大学の宇宙教育はどのようなことを行っているのでしょうか。

向井 東京理科大学の理科教育の一環として、宇宙教育プログラムを2015年から30名の少数精鋭体制でスタートしました。1年目は全員が理科大生でしたが、2年



1998年10月 向井飛行士が2回目に搭乗したスペースシャトル・ディスカバリー号の船内で短歌を書いて地球の子供たちと交信をする向井飛行士
©JAXA/NASA

目からは思い描いた姿をとることが出来、学生は理科大生以外でも参加が出来る公募です。

また、30名のうち20名が大学生、10名は高校生です。このスタイルにしている理由は、理科大は理科系の教師になる人も多いので大学生が高校生に教えることも学べるように、という面も視野に入れています。私はこの異なる年代でチームを組んで学んでいくサイクルを作りたいです。

— 東京理科大学の宇宙教育には、どのような特徴があるのでしょうか。

向井 「パラボリックフライト」という無重力を20秒くらい体験できるものがありますので、そうした形で宇宙ステーションと同じような条件を作って実験を行います。その時には、宇宙ステーションで行われて

産学官との連携

いるのと同じようにチームで物事を進めてもらいます。1チーム4人のうち飛行士として飛ぶのは1人、他の3人はそれぞれ地上で担当になった役割をこなす、といった形です。このようにして、宇宙ステーションで行われていることと同じことを学生達が垣間見えるようにしています。

— 実際の宇宙飛行の施設や装置にふれることも出来るのでしょうか。

向井 1年の中の限られたカリキュラムなのですが、有人宇宙飛行の飛行士室などがあるつくば市の「筑波宇宙センター」で学びます。また、平成28年度からは選抜でNASAのエイムズ研究センターに学生を派遣もしています。そこでアストロバイオロジー（宇宙生命科学）なども学び、その研究成果を学会で発表してもらいます。

他にも海外の宇宙飛行士や、「はやぶさプロジェクト」に携わった先生を招いて話をさせていただいたりしています。また、NASAがアメリカ大使館に派遣している方に国際情報をレクチャーしていただくなど、世界の色々な人々が手を取りあって宇宙開発というのは行われている、ということを感じられる機会を多く作ろうと考えています。そうしたことが理科大のメインです。

— 話を聞いているだけでも、次世代の宇宙開発の人材が着々と育っているように感じますね。

向井 とにかく理科教育に限らず、教育というのは自分の夢を実現させる、自己実現をかなえるためのツールだと思っているのです。私が教育を受ける機会がなかったら、医者や宇宙飛行士になるチャンスを手に出出来なかったわけです。

理科大に来たから教育うんぬんと突然考えるようになったわけではなく、ずっと教育が持つ力を信じてきました。

宇宙と地球の研究がリンクしたグローバルヘルスセキュリティ

— 現在、宇宙での活動と地球で行われてきた研究をリンクさせた国際的な取り組みにも携わっておられますが、どのようなものでしょうか。

向井 国連の宇宙空間平和利用委員会の活動として、宇宙という空間をどうやったら世界の人々に上手に役立てられるのか、というテーマで色々な取り組みをしています。私の専門分野である医学の面からWHOや日本の大学と一緒に行動することもあります。

例えば、長崎大学の熱帯医学



宇宙教育プログラムにおけるパラボリックフライト実験

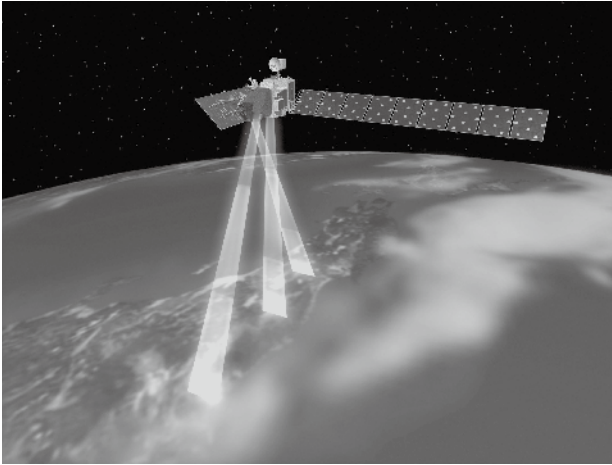


宇宙教育プログラムで講義される向井副学長



東京理科大学・野田キャンパスで講義される向井副学長

産学官との連携



ALOS陸域観測技術衛星「だいち」のイメージイラスト ©JAXA



オランダとの中継特別ミッション「向井宇宙飛行士と一緒に、世界と、宇宙とつながろう!」に出演する向井先生(2013年2月8日東京・渋谷)

©JAXA

研究所がアフリカのヴィクトリア湖にあるのですが、JAXAの「ALOS（陸域観測技術衛星 愛称“だいち”）」の観測結果と大学の研究データを組み合わせることで、雨が降ってヴィクトリア湖の湖面が何センチ上がるとマラリアを媒介する蚊の数がどのくらい増えるのか、一定の場所でマラリアがどれくらい発生しやすくなるのかなどが分かります。そのデータを基に予防対策が取れるわけです。

こういった何千何万の人命対策のためのグローバルヘルスセキュリティが、宇宙にある人工衛星の“高い目”から見たデータを基に行えるようになってきました。それ

は、病気だけでなく食糧危機の対策にも活用できます。人工衛星で日照率などの環境の変化を調べて、農作物の収穫量との関係を比較することで、新たな対策が取れるわけです。また、収穫量だけでなく、この地域で採れるものは甘いとか、いつ頃収穫出来そうだとか、食料予測も出来るのです。

—— 最後になりますが、会員企業へのリクエストや提言がありましたらお願いします。

向井 宇宙で使用する機材に一番求められることは、やはり「安全性」なんです。私は機器を専門にオペレートする立場ではなかつ

たのですが、NASA基準では、人がいる空間の安全性はものすごく厳しいものになっていました。私は医者でもありますし、誰かがケガをしたり傷ついたりということは本当に不幸なことなので、ひとつお願いするなら「安全性」です。

—— ありがとうございます。

向井先生は対談後、2017年1月にウィーンで開かれた、宇宙の平和利用を話し合った「国連宇宙空間平和利用委員会」の科学技術小委員会でも議長を務めるなど、現在も最前線で活動を続けられています。これからも日本の宇宙開発のためにご活躍を期待しております。

【参考文献】

- ・「キュウリの種のペグ」についての情報
http://www.jaxa.jp/article/special/kibo/takahashi_j.html
- ・JAXAの「ALOS」についての情報
<http://www.satnavi.jaxa.jp/project/alos/>
- ・向井先生が国連の会議で議長になった「国連宇宙空間平和利用委員会」情報
<http://www.jiji.com/jc/article?k=2017011300812&g=soc>

次号「ミュージアム探訪・特別展 世界遺産ラスコー展」では東京藝術大学大学院美術研究科五十嵐 ジャンヌ先生にお話いただきます。