

2021年日本地球化学会ショートコース ご講演質問リスト

*ご講演中に時間の都合で取り上げられなかった質問、アンケートに記載されていた質問に対するQ&Aです。

白岩先生へのご質問

Q1. ドラえもんミニドラえもんの例えが大変わかりやすかったです。自分のオリジナリティを確立したいのですが、一方で先生からまだまだ教わりたい気持ちも強いです。キャリアの中で、大体いつ頃からオリジナリティのある研究へと展開すれば良いでしょうか。

- 人によると思いますが、特に修士課程と博士課程の最初の頃までは、先生から与えられたテーマに沿って研究していくのが常套だと思います。博士課程の後半には、自分でテーマを見つけ出す力が備わってくるのが理想かもしれません。ポスドクでは、自分の色を出した研究をするように意識するのは重要だと思います。その意味で、講演でも話しましたが、ポスドクは博士課程とは別の研究室に行くことに意義があると思います：博士課程で身についたことを生かしながら、新しい研究テーマに取り組めるので、必然的にポスドクのポストとは少し毛並みの違った研究をしやすいからです。私の場合は、博士課程では有機エアロゾルの変質のモデル研究をしていました。ポスドクでは、主に有機エアロゾルの生成実験をしている研究室で、そこで博士課程で培ったことを発展させたモデルを開発して実験結果の解析をしていたので、博士課程とポスドクのポストも違う研究ができたように思います。

Q2. ドイツのマックスプランク研究所のグループリーダー、とカルフォルニア大学での教員職の違い、がイメージがつかえません。ドイツからアメリカへの異動を考える上で、何か考慮されていたことがあれば教えて下さい。

- マックスプランク研究所のグループリーダーは、自分のグループを持ち学生やポスドクはいましたが、テーマはディレクターの意に沿ったものであり、研究費もディレクターから差配されたもので、完全に独立した研究室とはいえ、言わば半独立の状態でした（日本の助教に近い状態）。ただ、十分すぎるほどの研究費がある上に、ディレクターとの関係も良く研究の自由もかなりあったので、とても恵まれた環境ではありました。ただし、研究所なのでprofessorshipはなく、自分のグループのオフィシャルな指導教官ではありませんでした。アメリカは、Assistant Professorの時点で既に完全に独立した上に一人のPIとして初めから認知されるので、すべて自分の差配で研究できる点が最大の魅力です（その分リスクも高いですが）。

Q3. テニユア・トラックは大抵5-6年ですが、白岩さんはカルフォルニア大学でのAssistant Professorは1-2年だけでテニユアを取得しAssociate Professorへ昇進していらっしゃいます。これらも含め、カルフォルニア大学着任前に何か相談していたことがあれば教えて下さい。

- マックスプランク研究所のグループリーダーもテニユアトラックに近い制度で、5年後に評価されて、パーマナント職になるポジションでした。すでにグループリーダーを3年していましたので、カリフォルニア大学にはその点を考量してもらい、テニユアトラック（テニユア取得までにかかる期間）を短くしてもらいました。ただやはりテニユア取得の条件は高いので、研究費の獲得、授業をきちんとしている学生評価を取る、そして論文も出すということが求められ、カリフォルニアに移った後は結構頑張って研究しました。

Q4. 海外を考える上で、語学が不安です。渡航前や渡航後に何かしていた工夫はありますか？また、英語上達に関して何かご助言あればお聞きしたいです。

- TOEFLの勉強はしていました。それと、電車の中で英語を聞くようにしていました。学生時代は論文をかなり読むようにしていました。面白そうな論文はすべてプリントアウトして机の上に置いておき、時間あるときに手にとって読むようにしていました。渡航後は、研究に忙しく英語の勉強を特別したことはありません。日常の研究生活の中で身につけていった感じです。これは個人的なことですが、フレンズ（シットコムでかなり笑えます）が好きで、DVDを見まくっていたらアメリカ英語の聞き取りがよくなって喋るのも上達したような気がします（気のせいかもしれません）。英語の字幕をつけながら見るとついていきやすいです。

Q5. アメリカの大学でのレクチャーの様子が想像と異なっていて驚きました。学生を楽しませたり、たくさんの宿題を出しても評価を落とさないために、何か気をつけていることはありますか？（※私も学位を取る時に海外を考えましたが、とある海外の教授に「君は学部生にベーシックサイエンスを英語で講義する度胸ある？」って言われて、怖気づいて断念した記憶があります。今思うと、あのとき勇気をだしていれば、と後悔しています）

- 一番気をつけていることは、学生に対して自分がいかに授業に熱意を持っていて、学生みんなに成功して欲しいんだという気持ちを伝えるようにしていることです。逆に学生を馬鹿にするような態度をとるなど上からの態度を少しでもとってしまうと、評価にもろに出てしまいます。後は、ハツリでもいいから自信を持って堂々と授業することです。少しでも自信のなさそうな態度をとると、学生に不安に思われるか舐められてしまいます（これは日本でも同じでしょう）。

Q6. 私の指導教員の先生があまり英語が得意ではなく、国際学会への参加も積極的ではありません。研究自体はとっても楽しいのですが、そのような環境から飛び出る勇気がありません。白岩さんは、海外を目指す上でどなたかに相談をしたりしていましたか？

- 私の場合は、誰にも相談しませんでした。学振DC1を落とされたことで自分の気持ちが振り切れてしまっていたので、後先考えず飛び出した感じです。国際学会に参加できる機会があるといいですね。いい研究をして、指導教官に国際学会で発表してみたいと相談してみたいかがでしょうか？

Q7. 日本と比べて、欧米の方が企業からアカデミアへと戻りやすい環境であるとのことだったと思いますが、その分産学連携のプロジェクトも日本より発展しているという理解で正しいでしょうか？

- 産学連携はアメリカは多いように感じますが、私自身あまり経験がなく、日本の事情も詳しく承知していないので、回答できません、すいません。

Q8. これからも最新の活動をフォローしたいので、ツイッターやFacebookでフォローしてもいいですか？

- 研究のことは主にツイッターを用いていますので、どうぞ@ManabuShiraiwaをフォローしてください。Facebookはほとんど個人的なこととなっております。

尾崎先生へのご質問

Q1. 今年、大気観測しやすい地球型系外惑星が見つかったという報告もありますが、現在、尾崎先生のモデルに当てはまりそのような系外惑星はどの程度見つかったのでしょうか。Kepler 452b以外にもあるのでしょうか。

- これまでに発見されている大気観測しやすい地球型系外惑星は、赤色矮星と呼ばれる太陽よりも低温度の恒星周りに存在しています。こうした惑星系のハビタブル惑星は、太陽—地球の関係とは大きく異なった条件下にあります。Kepler-452bは未来の太陽—地球の関係に対応する可能性のある惑星として、私の知る限り最もふさわしい天体です。ただ、惑星候補にとどまるという論文もあるようなので今後の検証が必要です。また、Kepler-452bはかなり遠方にあるため大気観測は難しいでしょう。今後、より近傍の太陽型恒星周りでのハビタブル惑星の発見が期待されると思います。

Q2. 火星の生命探査では土壌中のメタンの検出が重要という話を聞いたのですが、地球にはかつて多くのメタンがあったのですね。火星の場合はこれが進化の過程で失われたために、現在、メタンがないということなのでしょうか？

- 火星のメタンについては、キュリオシティによる観測など現在精力的に研究が進められているトピックです。現在の火星のメタンの起源についてもまだ解明されておらず、私の知る限り、太古の火星大気中のメタンについては殆どわかっていません。地球の場合は、水岩石反応のほか、嫌気条件下でメタン生成古細菌による生物源メタンの生成が生じます。その起源は35億年前まで遡り、当時の無酸素大気中では数百ppmvレベルで存在し、当時の温暖気候の形成に寄与していたと推測されています。ただし、地質記録に基づく制約はほとんどなく、現状のところ理論研究に基づく議論にとどまっているのが現状です。

Q3. 10億年もあると、生物の代謝機構の進化（さらなる低CO₂環境への適応など？）もありえると思いますが、大気酸素濃度の低下自体は、生物の進化があったとしても、物質収支などの問題で必然的なものになるのでしょうか？

- 低CO₂条件への適応は十分あり得ると思っています。この研究では光合成限界（CO₂補償点）に不確実性をもたせ、CO₂濃度が1ppmvまでは光合成ができる場合についても検討しています。結果としては、たとえCO₂低下に適応した場合にも、太陽光度の増大に伴う気温上昇によって光合成速度が低下し、最終的には貧酸素化が進行する結果となります。330K程度まで高温環境に適応できる場合についても結論は変わりませんでした。

Q4. 系外惑星に酸素やオゾンがある場合、オーロラに現れる可能性があると思いますが、尾崎さんも電磁気圏までモデリングされる予定はありますか？（酸素やオゾンそのものを検出する方が楽なのではないか）

- これは考えていなかった着眼点です。私は卒業研究がMHD（電磁流体力学）に関するテーマでしたので、興味はあるところですが、もし直接撮像された惑星からそうしたことでわかるかと面白いでしょう。ただ、検出可能性については私にはわかりませんので、ご専門の方の意見をいただきたいところです。

Q5. 太陽定数（luminosity?）の将来変化はどの程度確からしいのでしょうか？

変化がない場合の結果も図に載せてもらったので気になりました。

- 主系列星の光度進化については重力熱力学の分野で確立しているものと思います。地球史初期については、太陽質量に不確実性があり、これが当時の太陽光度に影響することが議論されていますが、（億年スケールの）将来進化について

は、不確定性はほとんどないと言って良いと思います。本研究では、太陽光度の増大が大気貧酸素化の究極的なドライバーになっていることを明示するために、太陽定数一定の場合についても数値事件を行いました。こうした“たれば実験”ができるところが理論モデルの強みだと思います。

Q6. モデルでは、基本的に地球型の条件を用いていらっしゃると思います。系外惑星探査研究と絡める際、他のハビタブル惑星の条件である、液体の水が存在するかどうか、生命活動可能な時間スケールで大気が保存されていたか（温度、中心星からの距離、中心星の将来変化、惑星サイズなど）といった他の条件も踏まえたモデリングは可能でしょうか。

➤ まずは太陽—地球の関係にある惑星について研究を進めていくつもりですが、そこから少しずつ条件を緩めながら研究を進展させていきたいと思っています。手を付けやすいのは中心星タイプの違いや生態系構造の違いに注目した研究です。固体地球要因（熱史、プレートテクトニクスや惑星のバルク組成）についても検討したいところですが、まだアイデアはありません。

Q7. 最近、生物による酸素の生成量は惑星の自転軸（昼の長さ）に依存するという研究があったと思います。地球の自転軸の変化を考慮すると、モデル計算結果はどのようになるのでしょうか。

➤ 自転速度と酸素生成の間に関係があるのではないかという議論があるのは承知しています。問題は、そうした日単位の酸素生成が地質学的時間スケールの応答時間をもつ酸素濃度（今の地球では200万年程度）に影響するかという点です。地質学的時間スケールでの酸素生成は光合成由来の有機物がどれだけ埋没するか（酸化を免れるか）ということで決まっています。日単位で酸素を多く作ったとしても、結局それらの有機物が埋没せずに酸化してしまえば地質学的時間スケールでの酸素生成量は増えません。私は、いまのところ、自転速度が酸素進化に大きく影響することはないのではないかと考えています。

Q8. 地質学的なデータとの対応ということに言及されていたかと思うのですが、具体的な指標として酸素以外に、例えば循環による炭素同位体の変動のようなものは見られるのでしょうか、ということをお聞きしたいです。

➤ 大気海洋の貧酸素化が生じれば、炭素や硫黄の安定同位体に顕著な変化が現れると予想されます。たとえば、有機物合成が低下すれば炭素同位体比も低下するはずですが、また、海洋の硫酸リザーバーが枯渇するのに伴って、硫黄の安定同位体比に大きな正異常が記録されると予想されます（海洋貧酸素化に伴う黄鉄鉱の埋没率増大の効果）。地質時代には大気貧酸素化が生じた可能性のある時代があり、そこでの地質記録—モデル比較を研究として進めています。地質時代の大気組成（O₂, CH₄）の制約や海洋化学組成（P, Fe）についても定量的な制約が地質記録から進むと、理論モデルにとって大きな制約になります。このあたり、今後あたらしい指標が開発されることを大いに期待しています。

Q9. 聞き逃してしまったかもしれませんが、将来の地球大気の酸素濃度の低下の横軸（失くなるまでの時間）に大きな幅があったと思いますが、何に起因するのでしょうか？

➤ 特に重要なのは地球表層とマントルの間での物質収支です。マントルから表層に還元的な物質が供給されるフラックスが大きい場合ほど酸化的な大気の持続期間は短くなります。また、沈み込み帯を通して還元的な物質（有機物や黄鉄鉱）がどれだけマントルに輸送されるかも長期的な酸化還元収支に影響します。沈み込み帯での物質循環の理解は、惑星進化の観点からもとても重要なテーマだと思っています。

松岡先生へのご質問

Q1. レーザーの照射は特定の波長ですが、再現実験には波長はどのくらい重要なのですか？

- 熱を効率よく与えられるかどうかという点で重要で、YAGレーザー波長1.064 umでのMurchisonの反射率は十分低い（約6%）ので、照射時に熱をほぼ損失なく与えられると考えています。

Q2. 宇宙風化作用で有機物が宇宙風化作用でスペクトルの傾きが変わる仕組みは、どのようなものでしょうか（有機物の分解でしょうか）。そういった再現実験はされているのでしょうか。

- 構造変化が起きて（炭化の進行）、このとき短波長が明るくなっていくという報告があります（Moroz et al. 2004 Icarus 170: 214 ; イオン照射実験です）。

Q3. 微小隕石の衝突をレーザー照射で再現なさっているようですが、レーザーで再現できる「微小」とはどの程度を指すのでしょうか？ もし既に説明なさっていたら申し訳ありません

- 微小隕石はMicrometeoroidと呼ばれているのですが、本実験でもちょうどミクロンサイズのダストの20 km/sec程度での衝突の再現を試みました。

Q4. B型はスペクトルの形状がC型の他の形状と違うように見えるのですが、なぜB型もC型に分類されているのでしょうか？

- 特にめだつた吸収がないこと + 明るさが暗いという特徴がC型的のため、広義のC型に分類されていると思います。お書きの通りB型だけ右下がりです。OSIRIS-RExのターゲットBennuはこのタイプです。こちらの関連記事もわかりやすいと思いますので、よろしければご覧ください。<https://www.hayabusa2.jaxa.jp/topics/20161125/>

Q5. 反射スペクトルは試料の反射だけでなく、屈折や拡散などあってとても複雑になるように思います。

観測データと実験室でのデータの比較は結構難しいと想像しているのですが、実際は何か補正のような作業をしながら比較しているのでしょうか？

- おっしゃる通り、かなり複雑です。比較のやり方はいくつかあると思うのですが、私の場合ですと実験室では探査や観測の測定条件（主に角度）を観測に揃えるなどして、直接比較しやすいデータを取得しています。観測データについては測光補正という、観測角度条件をモデル計算によってそろえるような処理がされています。

Q6. 宇宙風化の実験に関して、隕石を粉末化してしまうことの結果への影響はないのでしょうか？ ペレットを作るために粉末化するのでしょうか？（薄片等でない理由）

- 反射スペクトルとしては、オリジナルの傾きが岩片に比べ赤く・明るくなる効果があります。ペレット作成のためというはまさにお書きの通りです。加えて、まず再現実験の先駆けとして、比較的単純な解釈を可能にするため（サンプル不均質を考えなくてよい）ということもあります。宇宙風化のトレンドがつかめてきたことで、徐々にサンプル不均質なども議論できるフェーズになってきて、岩片を使った実験も行われてきています。

Q7. 興味本位の質問ですが、新しい小惑星の発見は、NASA の職員が日夜頑張っているんですか？アマチュアも？もちろん JAXA や ESA の職員も含め、いろんなところからの情報を NASA が取りまとめているのでしょうか？

- (これはすみません、どうなのでしょう？どなたかに聞いたほうがよければもう少ししっかり調べてお答えします。) もちろんアマチュアの方もかなり活躍されていると思います。情報としては、発見されたものは国際天文学連合に登録・番号がつけられ、リスト入りすることになります。

亀山先生へのご質問

Q1. DMS は、1 日でも、時間的に変化するでしょうか？

- とても良い点かと思います。生物活動由来の気体ですので、海水中濃度は日変動すると想像してしまうのですが、実際はさほど大きく変動しません。その理由は DMS は代謝の一次的な産物ではなく、DMSP を介した 2 次的な産物だからです。そのため変動がかなり緩やかになり、周辺の海水との混合・大気への離散・酸化等の影響も加味すると結果として濃度変動として検出されるようなものにはならないです。

Q2. 現在数値モデルなどで一般的に使われている Lana et al. (2011) の DMS climatology は、どうやって計算されたものなのでしょうか？ chl-a ではなく、NCP の全球データを使って計算した DMS climatology は存在しますか？

- Lana の Climatology は計算したものではなく、データをコンパイルして、面的に広げた（外挿した）ものです。計算値としては Rafel Simo がだしている Solar radiation doze とクロロフィルと MLD から計算するものが使われていることが多いです。NCP から計算された DMS の Climatology はありません。

Q3. 海洋表層の CO₂ 測定、確かに商船にロガーつけて、全球を網羅できるようになってきている一方で、QC が甘いという問題があります。VOC も似たように、しっかりとした測定が必要かと想像しますが、この点いかがでしょうか？

- 仰る通りです。素晴らしいご意見です。私が講演で強調したい一つの点でもありました。GEOTRACES のようなプログラムでは共通の手法を用いてデータを取得し測定手法間（航海間）の違いを最小化しているのはご存知の通りかと思います。このような手法の同一化もしくは手法の相互比較ということが QC を向上させるために重要です。溶存 DMS の測定手法の相互比較研究は 5 年ほど前におこなわれ、私も参加しましたが、結構違いが出ていました。この点は海水中の VOC 分布を考える時に今後最も考慮されるべき点かと思います。

Q4. 3000 万円の機械、もう少し安くなったり、気楽に使える装置に変換することはできないのでしょうか？（流石に、商船 1 台ごとに 3000 万は無理そうな。。。）

- 感度によります。PTR-MS というものを私は使っていましたが、これも感度を下げて上げれば少し安価なものもあります。連続的な質量分析では基本的に検出の積算時間を長くすれば感度をあげることができるので安価なものを目的の種を絞ってやれば安価なものが出るかと思います。が、まだ 1000 万は少なくともかかるとおもいます・・・。

Q5. PTR-MS は海氷が広がっている領域でも観測できますか？

- EI-PTR-MS のことと想像しますが、出来ます。海水が船底から引き込めればどの海域でも使えます。ただし、「綺麗な」海水が引き込めればです。

Q6. 植物プランクトンの現存量(クロロフィル)と生物生産量が相関したり、相関したりしない理由は何に起因していますか？

- 植物プランクトン現存量は「今生きている植物プランクトンの量」の指標で、私の話に合った純群集生産は「その水塊中でこれまで生きていた生物生産の総量」の指標となります。そのため、過去にブルームが起きているような水塊ですと、クロロフィル濃度は低く純群集生産は高くなるという違いが出ます。

Q7. CO₂ の測定に人工衛星などを使って測定し、現場の船上分析と比べられないでしょうか？

- 海中の CO₂ の測定を人工衛星から測定するという技術を私は知りませんし、難しいのではないかなと思います。大気中の CO₂ であれば測定できると思います。

Q8. 1.インド洋の探索があまり進んでいないようですが、何か理由があるのでしょうか？ 2.波が入ってきてビニールで覆ったという話を伺いましたが、船上だと揺れの問題もある(通常時+時化など)のかなと思いました。やはり分析はその分難しくなるのでしょうか?採用が難しくなる手法や精度の問題、その他エピソードなどあればお伺いしたいです。

- 1. 単純に研究の機会が少ないところかと思えます。「海洋学は金持ちの道楽」だとか揶揄されることもあります。今後インド等の海洋学が強くなるとどんどんデータが出てくると想像します。
- 2. とても大事な点かと思えます。私が自動化、連続化、簡易化を目指している理由はこの点も考えているからです。時化のときでも自動に測定できるのであればデータを獲得できます。今のところ大きく揺れても私が扱った装置は問題ありませんが、ガスを抽出する気液平衡器の水面（水位）が変化することで室内空気が逆流したということはあります。ちなみに、将来的に自動化された測定装置だけを集めて大時化の海（台風とか）に突っ込むような航海できないかなあと思っています。

Q9. PTR-MS において、炭化水素や有機物の測定が難しいとのことだったかと思いますが、これらを測定できるようにするための課題としては何かアイデアはございますでしょうか？

- 良い質問ですね。PTR-MS は H₃O⁺ を使ってプロトン を VOC に移動させるのですが、これを NO⁺（間違ったらすみません）を使ってイオン化させるようなオプションもあり、確かこれは炭化水素も感度があります。また、メタンのような温室効果ガスであれば、CRDS をつかって連続測定が出来ます。