



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	気候工学（ジオエンジニアリング）の紹介
Author(s)	藤原, 正智
Citation	大気化学研究会ニュースレター, 26, 7-8
Issue Date	2012
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74903
Type	journal article
File Information	JSAC_Newsletter26_Fujiwara.pdf



アなどから 170 名と、合計 28 の国と地域から 350 名の研究者が参加した。

大会中は 5 つのセッションが並行で同時進行したため、参加できたセッションは限られたが、その中ではアイオワ大学の G. R. Carmichael 教授の基調講演や、名古屋大学の須藤健悟准教授、ノースカロライナ大学の Y. Zhang 教授らの招待講演などが印象的で、大気汚染物質と気候変動の密接な関係を考えると、グローバルな視点とミクロな視点を両方合わせ持つことが、これから先の大気化学研究にとって肝要であると改めて実感した。筆者は大会の間、セッション T2:「越境大気汚染モデリング」において、領域モデル RAQM2 による大気質、降水質、降雪質予測に関する発表

表を行った。RAQMは大気物理研の Z. Wang 教授、J. An 教授、Z. Han 教授らが日本に滞在中に開発・改良されたモデルで、いずれも当時学生であった筆者がモデルのイロハを教わった大恩ある先生方である。そのような経緯もあり、大会中は大気物理研や清華大学の先生方と旧交を温めたり、その学生と交流したりした。

夏の北京はスモッグに覆われ昼間の視界は白く遮られていた。滞在中は決まって夕立があり、エアロゾルをさっぱり洗い流したかと思いきや翌朝もまた白一面。北京の厚いスモッグにはローカルな対流では敵わず、広域の風雨を伴う前線の通過なくしては北京に青空はないものかと考えた。幸いにも最終日に訪れた八達嶺は青空と新緑に囲まれていた。

IUGG-2011 の集会報告

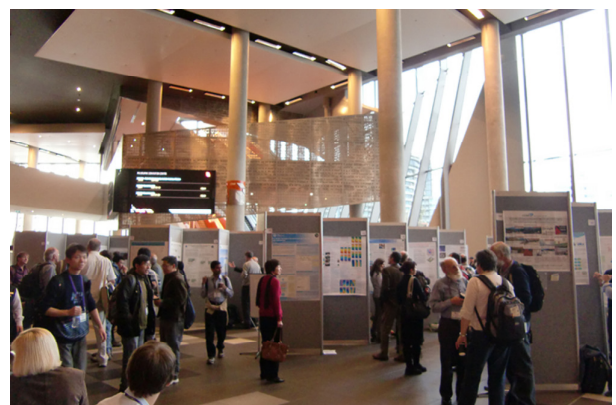
五藤 大輔(東京大学 大気海洋研究所)

International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG)は1919年に始まった非政府科学コミュニティで様々な科学組織が含まれた連合であり、我々の分野が所属するInternational Association of Meteorology and Atmospheric Sciences (IAMAS)もその一つである。近年では4年に一度の集会が開かれ、8年前の2003年に北海道／札幌で開催された折には、天皇・皇后両陛下が同総会の歓迎式典にご出席なされた。

今回(第25回目)の場所は、固有種の動物の宝庫であるオーストラリアの、メルボルン。6月27日-7月6日の日程故に、メルボルンの町並みは晩秋から早冬の時候であった。会場は港に近いメルボルンコンベンションセンターで、IUGGで使用した部屋数が30程度、と規模が非常に大きい集会である。

私が発表したセッション(M10, “Tropospheric processes and processing: Pollution and biogeochemical cycling”)の中のS3, “Atmospheric modeling”)では50名程度の聴衆であった。M10の中には、S3以外に、S1 (Air quality - Health and Policy)、S2 (Trends of atmospheric constituents)、S4 (Ozone and its precursors)、S5 (Aerosols, Climate and biogeochemical cycles)、S6 (Aerosols, chemical composition, sources)、S7 (Greenhouse Gases)、S8 (Remote Sensing of Tropospheric Trace Gases and Aerosols)のセッションが組まれており、M10以外には“Chemistry-climate interactions”や“Recent advances in middle atmosphere”などの大気化学に関連したセッションも開催されていた。発表する側としては、サブセッションの種類が多いために、より良い発表機会に巡り会える可能性が高かった。しかし聴講する側になると、サブセッションが多岐に渡っているにもかかわらず、それぞれのサブセッションでの講演者が非常に限られていたため、少し落胆した。

また、私の興味(対流圏大気化学、エアロゾル、雲微物理)に関連した分野でも 10 以上のセッションがあり、連日何かしらのセッションが開催されている状況であった。IUGG の集会の良い点は、上に挙げた私の興味を同時に聴講できることである(但し、今回の集会ではセッション同士の開催時間が重複してしまっており、一方には出席できなかった)。また、オーストラリアらしい研究(紫外線の健康影響やオーストラリアのダスト観測など)も見られた。1 時間半のセッション後にはクッキー付きのコーヒープレイクが 30 分も確保されていて、他の研究者とも比較的ゆつくり話ができた。大きな約束もこのような休憩中に決まることも多いようだ。色々な分野に興味があり、ご自身の専門が多岐に渡るのであれば、IUGG 集会に参加するのは、ぜひお勧め。毎回異なる場所で開催されるのも魅力の一つ。次回は 4 年後の 2015 年。場所はどこだろうか。



学会のロビー兼ポスター会場

気候工学(ジオエンジニアリング)の紹介

藤原 正智(北海道大学 大学院地球環境科学研究院)

はじめに

IPCC 第 4 次評価報告書[IPCC, 2007]には、様々な社会経済(温室効果ガス排出)シナリオにおける、向こう約 100 年間の全球平均地表気温の上昇予測がまとめられている。たとえば、A1FI と呼ばれる高排出シナリオの結果は、“best estimate”が 4℃、“likely range”が 2.4℃～6.4℃である。これを 2.4℃も温暖化しない可能性もあると見ることもできるが、他方、6.4℃以上の温暖化の可能性もゼロではないと見ることもできる。もしも後者の可能性を重大視するとしたら、というのが気候工学なるものの研究の必要性を考えている人々の大きな動機のひとつである。現在、国際社会の温室効果ガス削減に関する協議はあまりうまく進んでいないし、今後対

流圏の大気汚染の軽減が進むとともに急激な温暖化が顕在化した場合には、従来の緩和策や適応策では現代文明の維持が難しくなる可能性がある。そこで、人為的・積極的な気候の制御法について、検討・研究だけでも進めておくべきではないか、というわけである。

気候工学(ジオエンジニアリング)とは

気候工学とは、温暖化の軽減を狙った人為的な自然環境の大規模改変法の総称である。なんと SF や映画の世界の話のようであるが、自然環境の大規模改変自体は灌漑やダム・運河建設の例で分かるように人類史上様々に行われてきているし、ローカルな気象を制御しようという人工降雨研究には半世紀以上の歴史がある。温暖化対策としての植林、砂

漠の緑化などのアイデアは広義の気候工学に含めることができるかもしれない(植林は現在緩和策に分類されている)。しかし、近年活発に議論されるようになってきた狭義の気候工学は、あの Paul Crutzen 氏による「成層圏に硫酸エアロゾルを撒いてアルベドを増加させ温暖化を軽減する、といったような気候工学手法の研究をタブー視せずに進めるべき」と主張した論文[Crutzen, 2006]に始まるとされる。この成層圏アルベド増加の考え方は、1991 年のフィリピン・ピナツポ火山噴火により北半球の地表気温が0.5℃程度低下したとされる事象にヒントを得ているため、俗称として「ピナツポ・オプション」とも呼ばれる。Crutzen 論文のポイントのひとつは、この手法の場合、比較的低コストで温暖化軽減ができると試算されることにある。その試算が本当に正しいかは別として、ある一国やある一資産家の意思ひとつで、効果・副作用が不明なままこういった手法が実施されてしまわないとも限らないわけである。従って、気候工学に関する諸活動には適切な科学技術ガバナンス(ある科学技術を社会的にどう扱うか、社会的判断の仕組みと具体的な制度設計)が必要であり、このことも気候工学をタブー視せずにサイエンスの表舞台にあげようとしてきた人々の動機のひとつとなっている。

現在提案されている気候工学の手法は、太陽放射管理(Solar Radiation Management, SRM)と二酸化炭素除去(Carbon Dioxide Removal, CDR)のふたつのカテゴリーに分けられる。SRM として現在特に注目されているものは、上述の「ピナツポ・オプション」や、海洋上で人為的に凝結核となる物質を撒き上げることで低層雲を増加させアルベドを増加させる方法などである。SRM の問題は、何らかの社会経済政治的事情で継続不能になった場合に急激な温暖化が生じてしまうこと、海洋の酸性化の問題は解決できないこと、降水・蒸発のバランスが崩れ水循環に悪影響が出ること、などである。CDR には、海洋への鉄散布により植物プランクトンを増殖させ炭素固定量を増加させる海洋肥沃化や、大気中二酸化炭素の工学的回収などがある。しかし、前者については炭素固定量の増加は当初見込みよりずいぶん小さいと今のところ認識されており、後者については効率がかかなり悪くコストが非常にかかるのではないかと議論がある。

気候工学の全体像については、杉山[2011]、杉山ら[2011]による最新の詳しい解説があるので、ぜひそちらを参照されたい。また、気候モデルを用いて特に「ピナツポ・オプション」の効果と副作用を比較検証するプロジェクト GeoMIP なるものが計画されており、その第1回ワークショップの様子が、杉山、河宮[2011]により報告されている。

IUGG 2011 における気候工学セッション

2011 年 6 月 27 日～7 月 8 日にオーストラリアのメルボルンにて、国際測地学・地球物理学連合(IUGG)の第 25 回学術総会が開催された。この中で、7 月 1 日の午後と翌 2 日の終日、気候工学に関するシンポジウムが開かれた。あわせて 16 件の口頭発表、4 件のポスター発表があった。出席者数は他のシンポジウムと比べて遜色なく、熱気があったように思う。発表内容は多岐にわたった。まず、気候工学問題全体の概観と、気候モデル比較実験計画の紹介があった。他について以下に内容別に整理して紹介する。

SRM に関わる発表は半数以上を占めた。「ピナツポ・オプション」に関する数値実験の発表では、高度 22～24 km に撒くのが最も有効、副作用と

して降水がシベリア～アジアで減少、オーストラリアで増加との結果が紹介された。また、通年 globally 撒くと様々な副作用が生じうるが、実は夏の極域上空のみに撒くだけで同程度の温暖化軽減効果があると議論する発表もあった。低層雲を増加させる方法は、「ship track」(船舶からの排ガスが作る低層雲)にヒントを得ている面があるため、ship track 研究に関するレビューがあった。また、海洋低層雲増加に関する数値実験の発表では、雲のアルベド変化をもたらす諸要素を勘案すると、最も効率よくアルベドを増加させることができるのは亜熱帯域であると議論されていた。新しい話としては、温室効果を持つ上部対流圏の cirrus に着目した研究発表が 2 件あった。たとえば成層圏に撒いたエアロゾルが上部対流圏に落ちてきて cirrus 増加に働いてしまえば、温暖化軽減効果は正味ゼロになってしまうかもしれない。むしろ上部対流圏で cirrus の沈降速度を何らかの方法で高めることができれば温暖化軽減につながるし、この手法は短波放射でなく長波放射を制御するので、降水・水循環への副作用は生じないかもしれない。また、日本からも気候モデル MIROC を用いた 2 件のポスター発表があり、温暖化と火山噴火が海水温・海面水位の長期変化に与える影響、および、気候工学手法実施に伴う陸上降水量の変化に関する議論がなされた。

CDR については、海洋鉄散布実験に関するレビューがあった。また、緩和策に分類されている手法に関するレビュー発表も何件あり、陸域の炭素固定管理のレビュー(気候帯別の森林による炭素貯蔵量、バイオエネルギー技術、農業集約化)、藻類から作るバイオ燃料の紹介、ルーマニアにおける二酸化炭素回収・貯留(地中隔離)の取り組みの紹介があった。なお、今後はメタンの重要性がより増すはずであるという立場から、メタンの管理・削減に関する様々な手法を熱く提案する発表もあった。ガバナンスの観点から人工降雨研究の歴史をレビューした発表もあった。

気候工学は、エアロゾルや雲の微物理など、気候の科学の中でも不確定が特に大きい要素に着目している面がある。また、多分野の集合体に成長した温暖化問題の諸要素をもう一度学び直すいい機会とも感じた。いずれにせよ、社会からは気候科学の理解の深度が問われているように思われた。なお、私個人としては、いまだ充分とは言えない気候変動の測定・監視体制の改善[藤原, 2011]に取り組む形で気候工学に絡みたいと考えている。

参考文献

- Crutzen, P. J. (2006), *Climate Change*, 77, 211–219.
 藤原(2011)、*天気*、第 58 巻、679–695。
 IPCC (2007), *Climate Change 2007. The Physical Science Basis*, Cambridge Univ. Press, 996 pp.
 杉山(2011)、*気候工学入門—新たな温暖化対策ジオエンジニアリング*、日刊工業新聞社、197 pp.
 杉山、河宮(2011)、*天気*、第 58 巻、539–544。
 杉山ら(2011)、*天気*、第 58 巻、577–598。
 (注記: 天気の記事は、<http://www.metsoc.jp/tenki/> より取得可能です。)