

水循環および気候システムの研究への同位体の利用 —IAEA の会議 (IWCM と ICSYS) の報告*—

杉本 敦子**・一柳 錦平***

1. はじめに

水やその他の物質の同位体比は、水循環や気候システムの研究に利用されている。水の同位体は水そのものであるため、その同位体比は水のトレーサーとして利用できる。また、南極氷床の酸素・水素同位体比や、海底堆積物中の炭酸カルシウムの酸素同位体比は、これまで、過去の気温推定に中心的な役割を果たしてきた。さらに最近では、CO₂の炭素・酸素同位体比とO₂の同位体比を利用して、炭素と酸素のサイクルを解明しようという新しい試みも始まっている。

IAEA(国際原子力機構)Isotope Hydrology Section(同位体水文学部門)では、水同位体関連の水文学等に関する多数のプロジェクトや会議などが推進、開催されている。そのうち、水循環モデリング(IWCM)、気候システムの研究への応用(ICSYS)に関する専門家会議がそれぞれ2001年8月と11月にウィーンで開催され、一柳、杉本がそれぞれに参加した。同位体比が水循環や気候システムの研究にどのように応用されるのか話が話されたので、ここで簡単にその内容を紹介したい。

会議の報告の前に、IAEAと水同位体の関連を説明しておく必要があるだろう。IAEAはWMOと共同で地球規模での降水の同位体比(水素・酸素の安定同位体比とトリチウム)の観測網(GNIP)を設置し約40年にわたり維持してきた。トリチウムは核実験等で生成する質量数3の水素の放射性同位元素で、原子力の利

用に際し放出されるこのような放射性物質を水とともに追跡することが主な目的である。このトリチウムに加え、水の水素・酸素安定同位体比の3つのトレーサーを利用して、水・水蒸気の追跡を目的とした観測が継続されてきた。現在では、さらに、この貴重なデータベースを利用した水循環や気候システムの研究も行っており、今回の2つの専門家会議は、各分野の専門家を集めて現在世界で行われている研究のレビューを行い、IAEAが今後どのような貢献ができるかを考えるための会議であった。GNIPについての詳細は、<http://www.iaea.or.at/programs/ri/gnip/gnipinfo.htm>で見ることができ、最近では、データをダウンロードしたり月平均値の変化の様子をアニメーションで見することもできる。IAEAはまた、水安定同位体比を測定する際に標準物質として使用する水(SMOW;標準海水)を作成し世界中に配布(販売)しているところでもある。

2. IWCM (2001年8月27~29日)

一柳が参加したIWCM(Application of Isotopes in Water Cycle Models;水循環モデルへの同位体の利用)では、水同位体の大御所J. Gat(イスラエル, Ben Gurion 大学)のほか、流域水文学の分野で観測を行っている研究者とGCM(大循環モデル)やRCM(領域モデル)のモデラーが半々に参加しており、自分達の研究紹介を行った。IAEA側からはP. K. Aggarwal(オーストリア, IAEA)とJ. J. Gibson(オーストリア, IAEA)が参加しており、J. McDonnell(米国, オレゴン州立大学)が会議の座長を勤めた。表に会議のスケジュールを示す。

セッション2では、J. Gatが同位体モデルの基礎とまとめ、J. McDonnellとA. Rodhe(スウェーデン, Uppsala 大学)が小流域での観測を中心とした同位体水文学のまとめをそれぞれ発表した。

* Applications of isotopes for water cycle and climate system studies : IAEA-IWCM and ICSYS meetings.

** SUGIMOTO Atsuko, 京都大学生態学研究センター。

*** ICHIYANAGI Kimpei, 地球観測フロンティア研究システム・水循環観測研究領域。

セッション3では、M. Werner(ドイツ, Max-Planck 研究所)が Hamburg AGCM; ECHAM-4 (ヨーロッパ中期予報センター/ハンブルグ大気大循環モデル)を使った ENSO や LGM の再現, G. Schmidt (米国, NASA/Goddard Institute for Space Studies) が NASA 大気海洋結合モデルを使った氷床コアの同位体比の再現, G. Hoffmann(フランス, 原子力委員会)と P.-A. Danis(フランス, 原子力委員会)が ECHAM-4 に生物陸面過程を組み込んだモデルの紹介と, オフラインで小流域モデルを組み込み湖底堆積物の同位体比を再現させる試み, そして, 一柳(観測フロンティア)が観測フロンティアで行っているアジア域における降水や河川水などの同位体観測の概要と Water Isotope GCM (水同位体大循環モデル)の紹介, U. Mohanty (インド, インド工科)が大循環モデルや領域モデルの気候値がインドモンスーンの降水量や気温をどの程度再現しているか, についてそれぞれ発表した。

セッション4では、G. Kite(元カナダ国立水文学研究所, イギリス)が大河川の水文モデルのまとめ, A. Pietroniro(カナダ, 国立水研究所)が MAGS (Mackenzie GEWEX study, GEWEX は Global Energy and Water Experiment の略で, 全球熱・水循環観測計画)と水文モデルの紹介, そしてオブザーバーとして参加していた B. Fekete (米国, New Hampshire 大学)が Global Runoff Data Centre (世界河川流量センター)の河川流量データベースの紹介を行った。

セッション5では、広域を対象とした気象モデルと河川流域を対象とした水文モデルの異なるスケールを結ぶために、同位体を利用してどのような観測を行うかが話し合われた。その結果、河川の流量データは J. McDonnell のコロンビア川の観測値 (25地点の観測所があり、降水時には1時間ごとの観測が行われている)、流域の降水量データは M. Werner の大気大循環モデルの計算値をそれぞれ提供して、河川水の同位体比の変化から流量に占める地下水流量の割合を推定し、それを検証データとして利用する観測研究を進めていくことになった。

最も驚いた事は、NASA や Max-Planck Institute でも1人から2人だけで大循環モデルに同位体を組み込んで研究していることである。日本では(故)沼口敦氏が CCSR/NIES (東大気候システムセンター/環境研)モデルに同位体を組み込んだが、各国に1人、有能な研究者がいて、同位体大循環モデルを作っている

のが現実らしい。

3. ICSYS (2001年11月19~20日)

杉本が参加した ICSYS (Isotopes in Integrated Climate System Studies; 統合的気候システム研究における同位体)は2日間にわたって開催され、T. Edwards(カナダ, Waterloo 大学)が座長をつとめた。この会議も IAEA 側のオーガナイザーは P. K. Aggarwal と J. J. Gibson である。特に決められたテーマやセッションはなく、1日目は各参加者が行っている研究の紹介を行ない、2日目は同位体を気候システムの研究にどのように応用する事が可能か、また IAEA としてどのような貢献が可能かについて話し合われた。内容的には水循環が半分、炭素循環が半分であった。

まず、J. Gat (イスラエル, Ben Gurion 大学)が、降水同位体比は擾乱が入ってくる方向によっても変化することを指摘した。次に、K. Rozanski(ポーランド, University of Mining and Metallurgy)がポーランドにおける土壌 CO₂フラックスの観測例を紹介、J. Ehleringer (米国, ユタ大学)は IGBP-BASIN (生物圏の有機物や CO₂の同位体比から土壌有機物の炭素プールの回転速度を明らかにしようというプロジェクト)の紹介をおこなった。杉本(京大・生態研センター)は GAME (全球熱・水循環観測計画-アジアモンスーン観測計画)で実施されたチベット、タイ、シベリアの水循環関連の同位体の観測結果を紹介し、降水の再循環過程や水蒸気が入ってくる方向、また、蒸散される水の起源の推定等の例を紹介した。次に、D. Yakir (イスラエル, Weizmann 科学研究所)が CO₂と O₂サイクルの研究を紹介、S. K. Bhattacharya (インド, 物理学研究所)はインドで進められている堆積物の酸素同位体比による古環境の復元研究の現状を紹介した。I. Levin (ドイツ, Heidelberg 大学)はドイツ、南極、ロシアでの CO₂の炭素・酸素同位体比の観測と AGCM (大気大循環モデル)による計算結果との比較を紹介した。さらに、北極海への淡水流入過程を P. Shlosser (米国, Lamont-Doherty Earth Observatory)が紹介し、L. A. Martinelli(ブラジル, Sao Paulo 大学)はアマゾン流域の水同位体比のデータを紹介、S. Chamber (オーストラリア, ANSTO)はオーストラリアにおける同位体比を用いた気候変動に関する観測と AGCM を用いた研究を紹介した。最後に T. Edwards はカナダにおける関連プロジェクト、

MAGS, ISOMAP (過去の地球変化を明らかにしようというプロジェクト IGBP/PAGES の中で同位体を利用していくことを目的とした研究)に加え, GNIP から GCM を用いて計算した再解析データ (GIRAD) の紹介も行った. 初めに紹介した, GNIP データベースはこの T. Edwards の研究室 (カナダ, Waterloo 大学) で維持されている.

2日目は3つのグループ (炭素循環, 水循環, 古気候) にわかれてそれぞれの問題点などが2時間程度話しあわれ, 最後に全体で再度議論がなされた. 以下にその内容に関して簡単にまとめておく.

(1) 降水, 雪氷コア, 河川水等の同位体比を用いた研究

降水の同位体比は, 気温の推定, 水蒸気輸送, 降水のリサイクル, 蒸発散過程, 熱帯林伐採による水循環の変化などの研究に応用が可能で, 気候モデルのキャリブレーションに利用できる. また, モデルのキャリブレーションに観測データを使うだけでなく, 気候変動が敏感に検出できる地点をモデルの計算結果を用いて探すことも重要である.

GNIP の降水同位体比のデータを利用する場合は, データベースが月平均値であるので, 気温だけでなく, 擾乱がくる方向の頻度にも依存して変化する. それ故, GNIP の降水の同位体比から気温の推定を行う場合には注意が必要である. また, GNIP の最近の観測地点数の減少は大きな問題であることも指摘された.

その他, 河川水と海水の同位体比は, GNIP のデータとあわせて解析を行うことにより, 地下水や河川水の海洋への流入過程の研究と流域の水循環過程の研究に活用できることが指摘された. 海洋への淡水の流入は, 地球の気候システムを動かす重要なファクターであることが最近示されており, 水循環と気候システムの研究に活用できる可能性が指摘された.

(2) 湖底等の堆積物中炭酸カルシウムの酸素同位体比, 樹木の年輪の炭素・酸素同位体比を用いた研究

様々な時間スケールの古気候の復元に活用することができるが, 同位体から直接わかるのはその流域での土壌水分, 水循環, 地下水形成過程などの変化である. また, 年輪と堆積物など, 多数の違う種類のデータを比較していくことが重要であるという指摘がなされた.

(3) CO₂の炭素・酸素安定同位体比と¹⁴C, 大気O₂の同位体比

¹³C と ¹⁴C の併用から, 海洋と陸上生態系の CO₂ 吸収先の分配計算, 大気-海洋の交換, 平衡系からのずれを推定することが可能である. また, 土壌呼吸 CO₂ の ¹³C から, 生態系における循環速度の異なる炭素プールを識別することができる. さらに, CO₂ と O₂ の酸素同位体比を加えることにより, 地球規模の CO₂ 収支で, 光合成と呼吸のフラックス成分を分離できる可能性もある. しかし, 酸素同位体比に関してはまだ研究例が少なく, 不明な点も多く残されている. CO₂ や O₂ の酸素は水と同位体交換するので, 酸素同位体を利用していくためには, 土壌水, 葉の水の同位体比に関する地球規模での観測網の設置が必要である.

4. おわりに

2つの会議とも終始和やかな雰囲気で行われ, 伝統的なヴィエナ料理店でワインパーティーも開かれた. 一柳は同位体 GCM を作っている研究者らと, 杉本も水と CO₂ の同位体の大御所たちと知り合いになれたことは非常に大きな収穫であった.

ICSYS の会議で話し合われた内容はその後, IAEA 側でさらに検討され, まず手始めとして, 大河川の水の同位体比のモニタリングと水文過程研究への応用に関する研究プログラムが IAEA から提案された. これまで, 大河川の同位体比のまとまったデータベースはなかったので, これにより, 限定付きの期間ではあるが, 大河川の水の同位体比が測定されデータベース化されるだろう. このような河川水の同位体比は, IAEA の研究プログラムのみでなく, 他の水循環や気候システムの研究に利用されることが期待される.

同位体を用いた研究分野で IAEA の果たしている役割は極めて大きい. IAEA の全球降水同位体観測網のように, 全球規模で, またこれほど長期にわたる観測網は他にはないだろう. 解析にあたっては, 月単位のデータしかないことや欠測が多いなど多くの問題点はあるが, 観測網だけではなく, 研究者のネットワークを生かした新しい研究・観測プログラムの進展を期待したい.

表 IWCM のスケジュール

1日目	
セッション 1	: 開会
セッション 2	: 同位体水文学: 概念モデル

- セッション 3 : 大循環モデルと領域モデル :
パラメタリゼーションと同位体の利用
- 2 日目
セッション 3 : 続き
セッション 4 : 水文モデル : パラメタリゼーションと同位体の利用
- 3 日目
セッション 5 : ワーキンググループ

略語一覧

- AGCM : Atmospheric General Circulation Model (大気大循環モデル)
- BASIN : Biosphere Atmosphere Stable Isotope Network (生物圏大気圏安定同位体観測網)
- ENSO : El Nino Southern Oscillation
- GEWEX : Global Energy and Water Experiment (全球熱・水循環観測計画)
- GAME : GEWEX-Asian Monsoon Experiment (全球

- 熱・水循環観測計画-アジアモンスーン観測計画)
- GNIP : Global Networks for Isotopes in Precipitation (全球降水同位体観測網)
- GIRAD : Global Isotope Reanalysis Dataset
- IAEA : International Atomic Energy Agency (国際原子力機構)
- ICSYS : Isotopes in Integrated Climate System Studies (統合的気候システム研究における同位体)
- IWCM : Application of Isotopes in Water Cycle Models (水循環モデルへの同位体の利用)
- ISOMAP : Isotope Calibration and Mapping Study
- LGM : Last Glacial Maximum (約 2 万年前の氷床最拡大期)
- MAGS : Mackenzie GEWEX Study
- PAGES : Past Global Changes (古環境の変遷研究計画)
- SMOW : Standard Mean Ocean Water (標準海水)

月例会「長期予報と大気大循環」のご案内と講演募集のお知らせ

毎年テーマを絞って開催している標記月例会を今年度は「力学的長期予報の展望」をメインテーマとして開催いたします。長期予報モデルの実力、長期予報に関わる現象の理解とそのモデルでの再現性および予測可能性などの講演を募集いたします。講演を希望される方は下記の要領でご応募下さい。なお、1 講演あたりの講演時間は30分程度を予定しています。また、講演をしていただいた方には原則として講演内容を「グロースベッター」に執筆していただきますのであらかじめご了承願います。「グロースベッター」は、この月例会を主催する LF グループの長期予報研究会誌です。

記

- 日時** 2002年10月28日(月) 13時30分～17時
- 場所** 気象庁大会議室(旧第1会議室:5階)
- メインテーマ** 力学的長期予報の展望
- 申込方法** 講演者氏名, 所属, 講演題目, 講演要旨(400字以内)を添えて申し込んで下さい。
- 申込・問い合わせ先**
〒100-8122 東京都千代田区大手町1-3-4
気象庁気候情報課内 LF グループ事務局
Tel・Fax : 03-3211-8406(自動切換え)
E-mail : lfd_clim@hq.kishou.go.jp
- 申込締切** 2002年8月30日