

全球同位体循環推定に対する蒸発散水同位体比の影響評価

東京大学生産技術研究所*(JST/CREST 研究員)	正会員	芳村 圭†
総合地球環境学研究所	正会員	沖 大幹
京都大学大学院農学系研究科	非会員	大手 信人

1. はじめに

雨に含まれる水の同位体(重水素 D・重酸素 ^{18}O を含む水分子)は、地球上を水がどのように巡っているのかという情報の積分指標である。なぜなら、大気中の複雑な蒸発・凝結作用の結果として、水分中に含まれる同位体の量に偏りが生じ、降水同位体の時間的・空間的に大きな変動をもたらすからである。これまでの研究で、そのような変動の原因は定性的には解明されてきた。例を挙げると、内陸部や高山・高緯度地域では同位体の乏しい雨が降る、等である(例えば Dansgaard, 1964)。しかし、変動が特に大きい、数日単位での降水同位体変動の定量的な原因究明は成し得ていなかった。

そんな中、芳村ほか(2003)が構築した外部気象データを用いる鉛直積分型水平2次元の同位体循環モデルは、アジアモンスーン地域の中心に位置するタイでの降水同位体比の日単位変動を高い精度で再現し、その変動原因として、これまで定性的に考えられてきたような局所的な降水過程ではなく、広域的な大気中の水輸送が支配的であることを示唆した。それを受けた Yoshimura et al. (2003) は、精度の高い外部気象データ(大気水循環情報)を用いると変動の再現精度も高まることを確認、また2年間の変動の違いも再現できることを示した。さらに、モデル内の降水同位体比の変動を要因ごとに区別して、水平方向の水蒸気フラックス $\vec{Q}$ がもたらす同位体比変動(すなわち異なる同位体比を持つ水蒸気の流入に起因する変動)は、降水 P と蒸発 E に起因する変動よりも大きく、タイでは 37%、全球平均で 46% を占めることを定量的に明らかにした。

しかし彼らは、起源での情報、すなわち蒸発散時の同位体比 δE を「海洋上は一定値・陸上は2分類、且つ時間的に変化しない」と非常に簡素化している。それでも降水同位体比を高く再現できたことは注目に値するが、それだけで「起源情報は降水同位体比変動にあまり重要でない」と結論づけることはできない。そこで本稿では、蒸発散水の同位体比 δE が降水の同位体比 δP に与える影響を調べる。

2. 蒸発散水の影響評価手法

本稿では酸素同位体 ^{18}O について実験及び考察を行う。 δE を全球一様 (-10‰) として、GAME 再解析 Ver.1.5 を使用して 98 年 4 月 1 日から 10 月 31 日まで計算したものをコントロール (CTRL) とし、後述する 3 つの δE パターンを使用した数値実験結果と比較する。比較方法は、1) タイ・チェンマイでの観測結果を含めた比較、2) 全球各グリッドでの時系列結果との相関係数による比較、3) 全球各グリッド・各日での散布図による比較の 3 つである。

実験 1 海上の δE を操作: Schmidt et al. (1999) の海洋表層水の酸素同位体比全球分布を基に海面付近の風速・湿度・気温から蒸発時の動的分別を考慮した海洋上の δE を算出 (Merlivat and Jouzel, 1979)。陸上の δE は一様 (-10‰)。

実験 2 陸上の δE を操作: 直前に陸上に降った雨が、蒸散によって同位体比が変化せずに大気に戻るとする ($\delta E = \delta P$)。海洋上の δE は一様 (-10‰)。

実験 3 上記実験 1 と 2 を両方加味する

3. 結果

図 1 はタイ・チェンマイにおける、CTRL と各数値実験の降水同位体比の時系列変動と観測された降水同位体比である。どの実験でも、曲線が上下に平行移動するのみで、変動自体はほとんど変わらないことが見て取れる。観測値との相関係数を調べると、CTRL が 0.76、海上のみを変えた実験 1 は 0.75、陸上のみを変えた実験 2 は 0.78、両方変えた実験 3 は 0.78 であり、大きな違いは見いだせなかった。強いて言うなら、実験 2 の陸上からの δE を直前に降った雨の δP と等しいとするとき、変動が激しくなる傾向が見られる。

次に、各グリッドでの CTRL と各実験の降水同位体比の時系列変動同士の相関係数を全球地図上に示したものが図 2 である。実験 1 ではほとんど変化がないが(変動の平行移動のみが起きている)、実験 2 と実験 3 では、南米西岸とアフリカ

* 水の安定同位体・同位体循環モデル・降水・蒸発散

† 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 TEL 03-5452-6381 FAX 03-5452-6383

大陸西岸で地域的に相関係数が小さくなっている。これは、この地域の雨が陸上起源の水に大きく影響をうけているからだと考えられる。

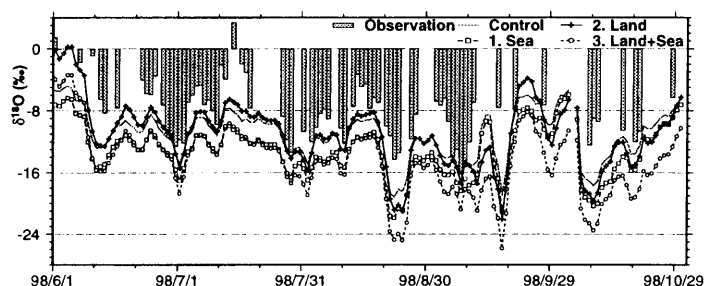


図 1: 各実験のチェンマイでの降水同位体比変動の比較

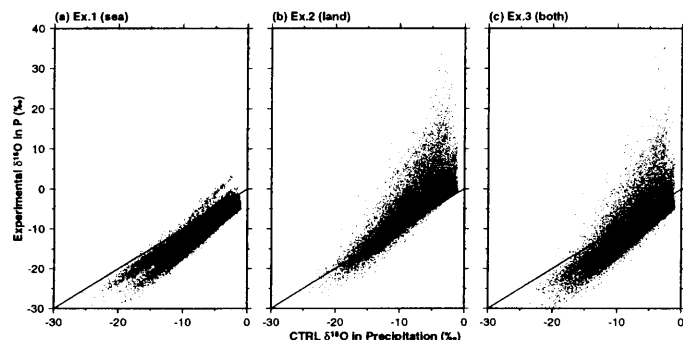
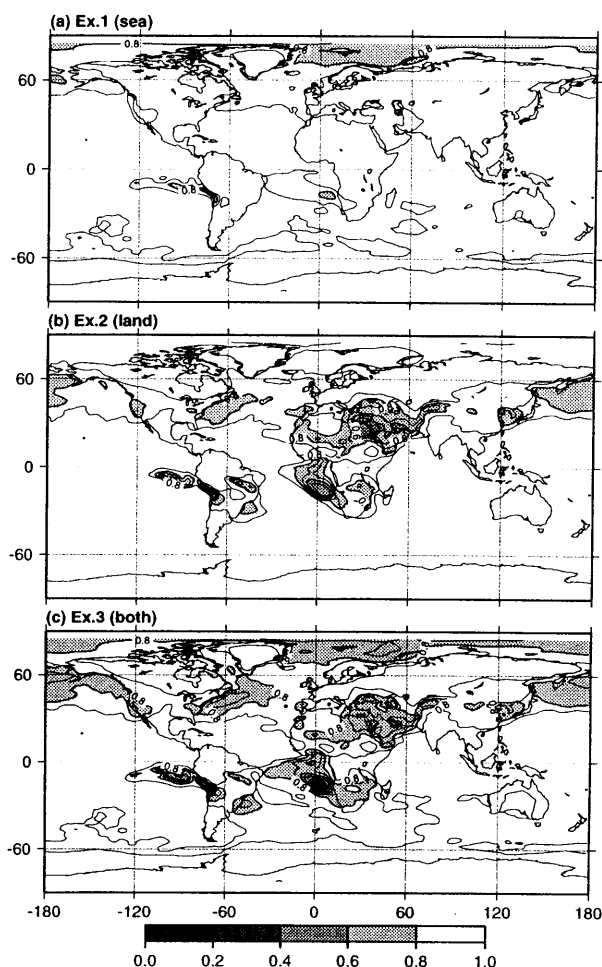


図 3: 全球・全日における各実験降水同位体比と CTRL の比較散布図

図 2(右): 各実験と CTRL の降水同位体比時系列変動の相関係数分布



最後に図 3 は、不確実性要素の高い高緯度地域の結果を除いた、北緯 60 度から南緯 60 度までの各グリッド・各日でのそれぞれの実験と CTRL 実験の結果の散布図である。海洋のみを変化させた実験 1 がおおよそ一様に値を減少させることにに対して、陸上を変化させる実験 2 では値を増加させ、元々の値が大きいほどその増加幅は大きくなる傾向を示している。実験 3 はちょうどその中間である。

4. まとめ

本稿では、鉛直積分型同位体循環モデルの蒸発散水同位体比 δE をより詳細に設定し、降水同位体比への影響を評価した。その結果、降水同位体比の変動を大きく変える影響は持たないということが、タイをはじめほとんどの地域で成り立つことが分かった。また、海洋上と陸上の場合わけをしたが、陸域からの蒸発が海洋からよりも総量として 1/5 以下であることを考慮すると、陸域に涵養された雨水が大気に戻るプロセスの降水同位体比の変動に与える影響は、より大きいと言える。しかし、本稿では陸面からの同位体分別は考慮しなかったが、陸域の同位体の蒸発散(特に土壌からの直接蒸発)に関しては未だ解明されていない部分が多く、今後はより一層の研究が必要である。

謝辞

本研究は総合地球環境学研究所平成 14 年度プロジェクト『地球環境情報ライブラリと世界モデルを統合した水危機管理システムの構築』(代表: 沖大幹) ならびに科学技術振興事業団 戦略的基礎研究推進事業『人間活動を考慮した世界水循環水資源モデル』(代表: 沖大幹) の成果の一部である。ここに記して深く謝意を表します。

参考文献

- Dansgaard, W., 1964: Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, **16**, 436-468.
- Merlivat, L. and J. Jouzel, 1979: Global climatic interpretation of the deuterium-oxygen 18 relationship for precipitation. *J. Geophys. Res.*, **84**, 5029-5033.
- Schmidt, G. A., G. R. Bigg and E. J. Rohling, 1999: Global Seawater Oxygen-18 Database., <http://www.giss.nasa.gov/data/o18data/>.
- Yoshimura, K., T. Oki, N. Ohte and S. Kanae, 2003: A quantitative analysis of short-term $\delta^{18}\text{O}$ variability with a Rayleigh-type isotope circulation model. *J. Geophys. Res.*, submitted.
- 芳村圭, 沖大幹, 大手信人, 2003: 水の安定同位体 (^{18}O) の鉛直積分型水平 2 次元循環モデルの構築と検証. 水工学論文集, **47**, 109-114.