

レイリー型同位体循環モデルによる降水同位体比の短期変動メカニズムの定量的説明

A quantitative analysis of short-term precipitation isotopic variability with a Rayleigh-type isotope circulation model

芳村 圭[1], 沖 大幹[2], 大手 信人[3]

Kei Yoshimura[1], Taikan Oki[2], Nobuhito Ohte[3]

[1] 東大生研, [2] 地球研, [3] 京大・農・地域環境

[1] IIS, Univ of Tokyo, [2] RIHN, [3] Environ. Sci. and Tech., Kyoto Univ.

<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~kei/indexJ.html>

水の安定同位体である重水素 D と重酸素 180 は、地球上の水循環の仕組みを解き明かすためのトレーサーとして広く用いられている。特に降水に含まれる安定同位体の時間的・空間的変動は、未知の部分が多い大気水循環過程解明への大きな鍵となる。このような降水同位体の時空間変動のメカニズムについての研究としては、これまでレイリー蒸留式を用いたモデルや大気大循環モデル (Atmospheric General Circulation Model) に水の同位体の物理的挙動を組み込んだモデルを用いた研究の 2 つに大別できる。しかし、レイリーモデルでは水蒸気の輸送・混合過程を考慮しておらず定性的な変動の説明に終始することが多く、また同位体 AGCM による研究も月単位の降水同位体比変動の再現にとどまっており、最大の変動幅を持つ降水同位体の短期的変動について合理的な説明をした研究は皆無である。本研究では降水の安定同位体の日単位変動に着目し、そのメカニズムの解明に挑む。

本研究では、 $1.25^{\circ} \times 1.25^{\circ}$ 水平 2 次元鉛直一層のグリッドモデルをグローバルに適用し、水蒸気から降水への分別はレイリー式によって、グローバルな水蒸気輸送と混合を外部からの気象データを変数としてフォーシングすることによって、同位体循環と日単位での降水同位体 (180) の変動をシミュレートした。使用した気象変数は降水量 P、蒸発量 E、可降水量 W、鉛直積分水蒸気フラックス Q (水平 2 成分) の 4 つである。まずコントロールシミュレーションとして水平解像度 $1.25^{\circ} \times 1.25^{\circ}$ 、時間解像度 6h の GAME (GEWEX Asian Monsoon Experiment) 再解析を用いて 1998/4/1 ~ 10/31 の期間で降水同位体比を計算したところ、GNIP (Global Network for Isotopes in Precipitation) による全球 389 地点の月単位観測とのよい再現性 ($R=0.76$) を得、GAME-Tropics のプロジェクトによって取得したタイの 3 サイトにおける日単位観測とも良い一致 (例えばチェンマイでは $R=0.76$ 、図参照) を得た。さらにこの降水同位体比変動の結果を、降水量 P・蒸発量 E・水蒸気フラックス Q それぞれの働きによる変動と、要因別に分析することによって、日単位の降水同位体の変動は水蒸気フラックスによってもたらされるものが最大であることが分かった (全球平均で 46%、タイにおいて 37%)。さらにこれらの要因が占める割合は地域によって大きく偏ることも分かった (多雨地域では降水量が、乾燥地域では水蒸気フラックスが、温暖な海洋上では蒸発量が比較的大きくなる)。

また感度分析を行い、それぞれの気象変数の変動が降水同位体比の変動に与える影響を調べたところ、降水量 P と水蒸気フラックス Q による影響が大きいことが分かった。さらにデータの時間解像度とモデルの空間解像度についても影響を見たが、日単位のデータを用いても、また $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ の解像度でも結果はほとんど変化しなかった。

感度分析の結果をもとに、他のデータセットにも適用を試みた。一般に再解析より良い精度を持つとされる GPCP (Global Precipitation Climatology Project) の降水データを用いて同じ期間のシミュレーションを行ったところ、全球の月平均ではあまり変わらなかったものの、タイの 3 サイト全てにおける日単位降水同位体比変動で再現性の向上が見られた。前述のチェンマイでは相関係数は 0.76 から 0.80 に、平均自乗根誤差は 4.2% から 2.9% に向上した (図中の黒実線参照)。さらに NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction and National Center for Atmospheric Research) 再解析データセットを利用して 98 年 1 月 ~ 99 年 12 月までの 2 年間のシミュレーションを試みたところ、再現性はコントロールシミュレーションと同水準に保ったまま、タイにおける年による季節変動の違いを再現することに成功した。具体的には 98 年の観測では 3 サイトを総合して季節進行に伴う下向きのアーチ型変動であったことに対して 99 年には上向きのアーチ型変動であり、そのような季節変動の経年変化も明瞭に再現できた。

これらの結果により、これまで降水同位体比の短期変動に対して重要であると予想されてきた空間的に小さなスケール (~30km) での降水過程、具体的には雲水中の微物理過程や対流活動に伴う気温の異なる環境下での凝結・蒸発過程等は、あまり重要ではなく、数 100km スケールの広域での大気水循環の挙動が降水同位体の変動に対して支配的であるという示唆が得られた。また、再解析等のデータセットの精度検証・比較に観測降水同位体を利用できる点も示唆された。問題点としては、日単位降水同位体比観測との検証が少ないことが挙げられ、これを増やしていくことが必要である。

