

# 全球スケール水循環過程と降水同位体比決定機構

## On the Mechanism of Precipitation Isotopes Determination Regarding with Global Hydrological Processes

芳村 圭\*  
Kei Yoshimura

### はじめに

水の安定同位体を用いた研究は、水文学や生態学を中心とした様々な分野で古くから行われており、特に年代や起源、経路の特定及び更なる応用に有効なツールとして用いられてきた。中でも降水の同位体は、流出過程等の研究のはじめの入力値として必要なばかりではなく、アイスコアなどを用いた古気候再現等の研究を進めるに際して現行気候の理解を深める必要があるという意味からも、非常に重要視されており、1960年代から全球規模の観測を中心として精力的に行われてきた。これまでに、非常に大きな時間的・空間的遍在性が確認されるとともに、それらの変動に影響のある要素(例えば気象条件や地理条件、季節性)についていくつかの説明がなされてきた。

しかし実際には、数多くの因子が相互に複雑に絡み合い影響を及ぼしているため、降水同位体比の時空間変動メカニズムの説明は定性的なものに終始してきたといっても過言ではない。例えば、日々変化する降水同位体比の変化はおるか、月単位以上から発現する気温効果(気温との正相関)や高度効果(高度との逆相関)や、なども一般的かつ定量的な説明はなされていない。

本研究では、このような背景を持つ降水同位体比が決定されるメカニズムを突き詰めることを目的とする。

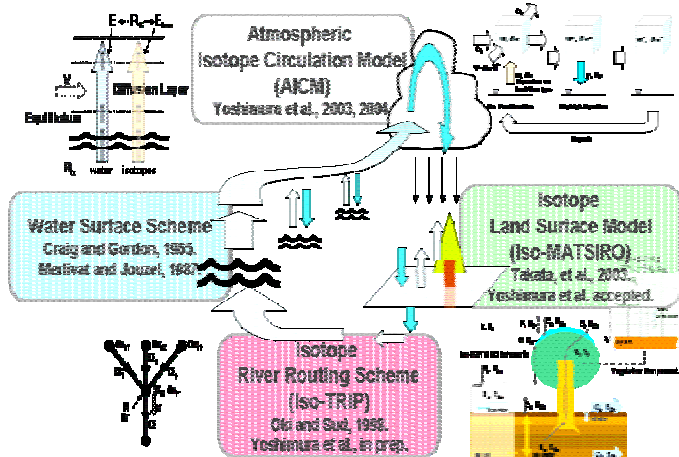
### 全球同位体循環モデルの構築

まず、これまで合理的な説明がされていなかった降水同位体比( $^{18}\text{O}$ )の日々変動に着目して、その変動要因の解明を行った。既往研究では、大気大循環モデルに同位体の物理過程を組み込んだ Iso-AGCM や、より簡略なレイリー蒸留式を用いたモデルが用いられてきたが、ここでは、両者の特徴を併せ持つレイリー型同位体循環モデルを新たに開発した。

本モデルは、鉛直一層水平 2 次元のグリッドを持つ全球水蒸気輸送モデルであり、降水量・蒸発量・可降水量・鉛直積算水蒸気フラックスからなる水蒸気循環場を外力として大気水収支式に適用してグローバルな水蒸気輸送と混合過程を表現し、水蒸気から降水への同位体分別に際しては簡素なレイリー式を用いている。水面・地表面における境界値の決定には、それぞれ水面分別モデル(Craig and Gordon, 1965)と同位体地表面モデル(Yoshimura et al., 2006)を用いて、刻一刻と移り変わる表層気象条件に対する同位体応答を物理的に表現した(第1図)。

### 実験手法 / 結果

第1表に実験設定を示す。ヨーロッパ中期予報センターが発表した15年再解析データ(ERA15)を



第1図：全球同位体循環モデルの概要

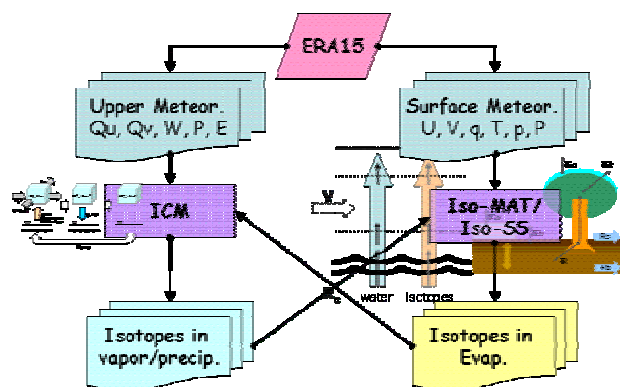
第1表：ERA15を用いたランの実験設定

General	
Spatial Resolution	1.°x1.°, globe
Simulation period	1979-1993
Model time step	1 hour for coupling and 10 min. for models
Meteorological variables	
W, Q <sub>v</sub> , Q <sub>s</sub> , P	ERA15
Rs <sup>+</sup> , RI <sup>+</sup> , u, v, q, p, T	ERA15
Boundary Conditions	
Land/Soil type, Topo.	GSWP2
SST	AMIP Climatology
Isotopes in sea water	δ <sup>18</sup> O=δD=0‰
Isotopic Parameter	
α <sub>eq</sub> (Eq. fract. factor)	Majoube, 1971ab
α <sub>kin</sub> (Kin. fract. Factor)	Merlivat, 1978

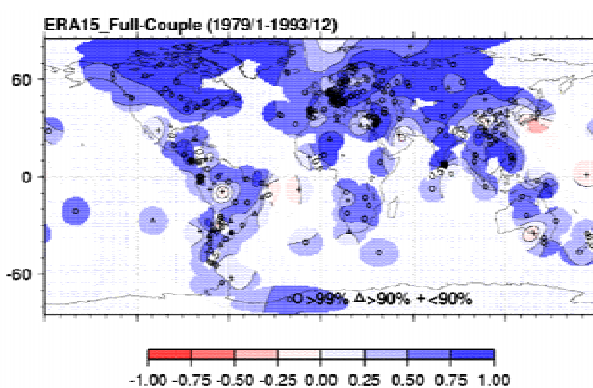
気象外力として使用した。大気同位体循環モデルで降水と水蒸気の同位体比を計算し、それに呼応した水面と陸面からの蒸発フラックスの同位体比を水面分別モデルと同位体地表面モデルがそれぞれ計算する仕組みになっている(第2図)。

15年間の降水同位体比の推定結果を全球降水同位体ネットワークによって検証した(第3図)。その結果、全球観測降水同位体比の季節変動及び経年変化が有意に再現された。このことは、少なくとも月単位の降水同位体比決定の主要因は大規模な大気水蒸気循環場と表面境界条件であることを示している。また、同位体の表面境界値をある一定値にした場合は、特に中高緯度で降水同位体比の季節変化の再現性が悪化することがわかった。

そのような地域では、地表面境界値のみを一定値にした場合には日々変動のパターンが変化し、水面境界値のみを一定値にした場合は季節変動のパターンが



第2図：モデル計算の概念図

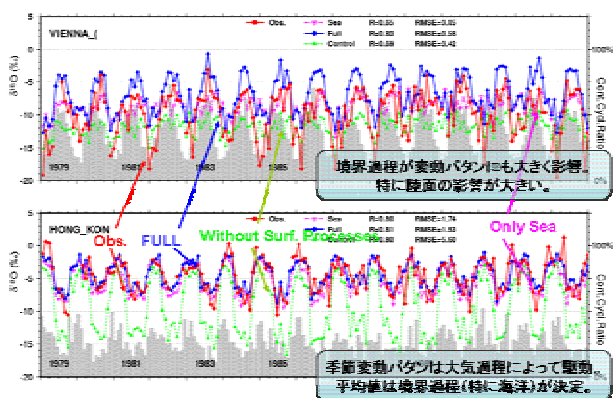


第3図：推定降水同位体比の検証。GNIP月単位観測との相関係数。図中の記号はそれぞれのGNIPサイトでの相関有意性を示す。

変化する(悪化する)ことが確認された(第4図上：ウィーンについて示す)。一方低緯度帯では、表面境界値が一定値であろうと降水同位体比の季節変動のパターンは変わらず、大気中の水蒸気輸送プロセスが降水同位体比の変動機構の大部分を受け持っていることが示唆された(第4図下：香港について示す)。

### 結論

以上の結果から、降水同位体比の変動は、低緯度帯では大気水蒸気輸送過程によって支配され、中高緯度帯ではそれに加えて降水起源地域での表層気象条件によって決められる、と結論付けた。気温効果や降水効果は、決定メカニズムがある期間以上積分された際に結果的に発現する、と考えられる。



第4図 水面・地表面境界条件を変えた実験の比較。ウィーンと香港についてのみ示す。

### 引用文献

Craig, H. and L.I. Gordon, 1965: Deuterium and oxygen-18 variations in the ocean and the marine atmosphere. In *Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures* (ed. E. Tongiorgi), Pisa, Italy, 9–130.

Yoshimura, K., S. Miyazaki, S. Kanae, and T. Oki, 2006: Iso-MATSIRO, a land surface model that incorporates stable water isotopes, *Glob. Planet. Change*, in print.