

雨の起源の定量解明に成功 降水中の安定同位体を指標として

2004年5月12日
東京大学生産技術研究所
助教授 沖 大幹
助手 芳村 圭

全ての水資源の『源』である雨。その雨はどこからどれだけやって来るのでしょうか。そのような問いに答えることは、地球水循環過程の解明のため科学的価値が高いと同時に、水資源の利用や管理の効率化、水問題・環境問題の解決などにもつながる可能性があります。本研究では、自然界に微量に存在する水の安定同位体¹を利用し、雨の起源の日々変動までを定量的により精度良く明らかにすることに世界に先駆けて成功しました。

大気中の水の相変化の積分履歴を持つ降水の安定同位体をモデルで再現することは、そのモデルの検証に他なりません。しかし、大気中の水の挙動は複雑であり、これまで降水同位体の短時間変動の再現は不可能でした。一方、降水の起源は様々な手法で推算されてはきましたが、検証が不可能であり、細かい時間スケールでの議論はできませんでした。本研究では、複雑と考えられていた大気中の水の挙動を的確に簡素化したモデルに、より現実に即した水の循環場を与えることによって、降水同位体の日々変動を地球規模で再現することに世界で初めて成功しました²。これは、複雑かつ詳細であればあるほど良いとされている大気循環モデルの世界に一石を投じるものでした。またこの結果として、日々変動の時間スケールにおける降水起源推定の信頼度が格段に向上しました³。

本研究で明らかになった、雨の起源についてのより正確な情報により、例えば、日本の梅雨の雨と台風の雨はその水蒸気の起源がどう違うのか、アジアモンスーンの開始と共に東南アジア諸国に降る雨の起源がどう変化するのか、陸上に降った雨の再蒸発水が降水に与える影響はどれくらいなのか、というような基本的な地球の水循環の様子が明らかとなります。また、熱帯アジアモンスーン地域におけるエネルギー水循環観測研究プロジェクト(GAME-T)で発見された、インドシナ半島における9月に顕著な降水量の長期減少がその地域の広範な森林伐採と関係しているという数値シミュレーションによる研究⁴の仮説をサポートする観測事実も得られました。さらに、水蒸気に溶ける汚染物質等の越境輸送の評価にも利用可能です。これらの点はまさに、地球観測サミットにおける大項目の一つ『水循環の理解を通じた水資源管理の向上』への貢献に向けた大きな一歩といえます。

本研究は、昨年10月にAGU/JGR(アメリカ地球物理学会誌)に掲載され、本年2月にウィーンのIAEA(国際原子力機関)本部での講演に招待され、3月には土木学会水工学論文奨励賞を受賞しました。また、科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業「水の循環系モデリングと利用システム(総括:虫明功臣)」の一環として研究されたものです。

補足説明

1:水の安定同位体

水素・酸素の安定同位体であるDと¹⁸Oを含む水分子のこと。地球上にはHDOは 0.015%、H₂¹⁸Oは 0.2%含まれている。微量ながら安定した状態で普通の水(H₂O)と混じって必ず存在しているが、質量数が異なるため相変化を伴う水の移動でその濃度が変化する。一般的に氷 水 水蒸気と相変化する際に、水の安定同位体の濃度は低くなっていく。濃度は質量分析器で測定し、標準水からの相対的な値で大小を判断する。慣用的に、同位体が多く含まれている水を『重い水』、少ない水を『軽い水』と呼ぶ。

2:水の安定同位体循環モデルの構築

複雑かつ未解明な降水過程を鉛直積分する形で簡潔に表現し、代わりに GAME (GEWEX Asian Monsoon Experiment : アジアモンスーンエネルギー水循環研究観測計画) 再解析という、高解像度かつ高精度な全球気象データを循環場として用い、同位体循環をモデル化した。IAEA が行っている全球観測、独自に行っているタイでの観測で検証したところ、降水同位体の空間分布とその日々変動が世界で初めての的確に再現できていることが確認された。このことはまさに水の循環場の信頼性の高さを示している。

3:雨の起源の日々変動から分かること

データさえあれば、雨の起源(どこで蒸発したのか)を推算することは可能である。しかし、その信頼性を評価することは難しい。本研究では、降水同位体の日々変動が再現された前述の同位体循環モデルと同じ輸送スキームを採用することにより、降水起源の全球分布と日々変動を精度良く推算した。その結果から分かることの例を以下に示す。

日本での梅雨の雨と台風の雨の起源の違い(図1)

1998年の梅雨は長く、入り6月2日/明け8月3日であった(気象庁)。また、台風は少なく、本州に影響を与えたのは台風5号(9月15日)6号(9月18日)7号(9月22日)9号(10月2日)10号(10月17日)であった(JAXA)。それぞれの時期について、雨の起源を求めると、双方北太平洋の割合が高いが、梅雨の雨は44%、台風の雨では64%と顕著な差が見られた。

降水中の陸上起源水の割合の全球分布(図2)

内陸に行くほど、陸上から蒸発した水が降水中に含まれる割合が高くなる。すなわち水資源が陸面状態に依存するようになることを示唆している。

アジアモンスーンオンセットによる水蒸気起源の劇的变化(図3)

南アジア・東南アジアにおいて、農業等に多大な影響を与える雨季の開始時期(モンスーンオンセット)には、インド洋からの水蒸気供給が急激に増加することにより、雨の起源がドラスティックに変化する。

タイの9月以降の雨は陸上起源の割合が大きい

以前に報告された「森林伐採により雨季後半の雨が減少している（後述）」ことの裏付けである。つまり、雨季後半のタイの雨は陸からの水蒸気供給に依存しており、陸からの蒸発が森林伐採によって抑えられたため、タイ9月の雨量が減少してしまったと考えられる。

中国起源の水の変動（図4、アニメーション）

1998年の中国を起源とする水の分布を示す。5月から8月にかけて東方向（日本向き）へ、9月から10月は南方向（東南アジア向き）へ流れていく様子が分かる。

4: 森林伐採とタイ9月の雨

Kanaeらによる研究結果。タイの40数年間の降水量データを月別に分析したところ、9月のみに顕著な減少傾向が見出され、その減少と森林伐採との関係を数値気候実験を用いて示唆した。しかしなぜ、9月のみ森林伐採の影響が強いのかまでは解明できなかった。

Kanae et al., Impact of deforestation on regional precipitation over the Indochina peninsula, *J. Hydrometeor.*, **2**, 51-70, 2001.

本研究論文名

Yoshimura, K., T. Oki, N. Ohte, and S. Kanae, A quantitative analysis of short-term 18O variability with a Rayleigh-type isotope circulation model. *J. Geophys. Res.*, **108**(D20), 4647, doi:10.1029/2003JD003477, 2003.

本研究担当者

芳村 圭（東京大学 生産技術研究所 助手）

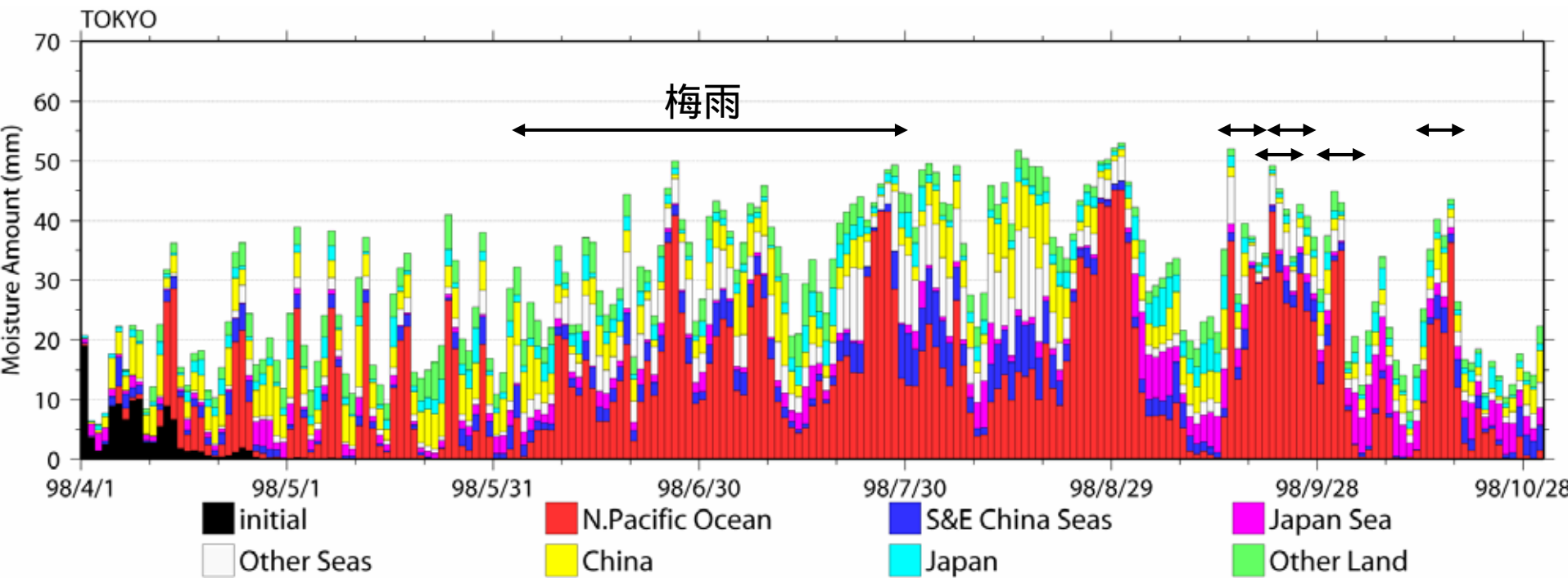
東京都目黒区駒場4 - 6 - 1

東京大学生産技術研究所 沖鼎研究室

Tel: 03-5452-6382 Fax: 03-5452-6383

Email: kei@iis.u-tokyo.ac.jp

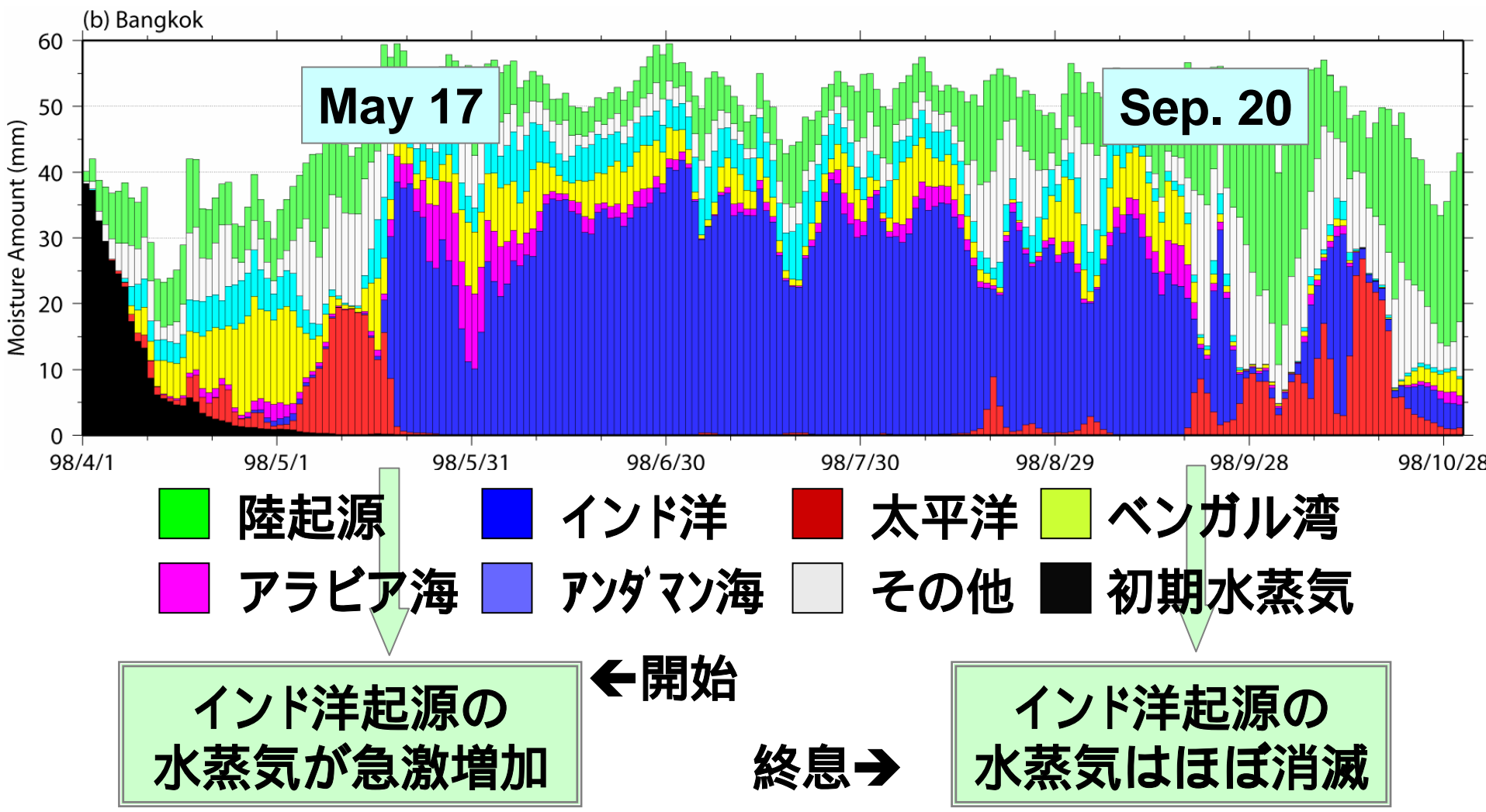
東京の雨の起源



- 梅雨の雨の北太平洋起源水割合：44%
- 台風（台風）の雨の北太平洋起源水割合：64%

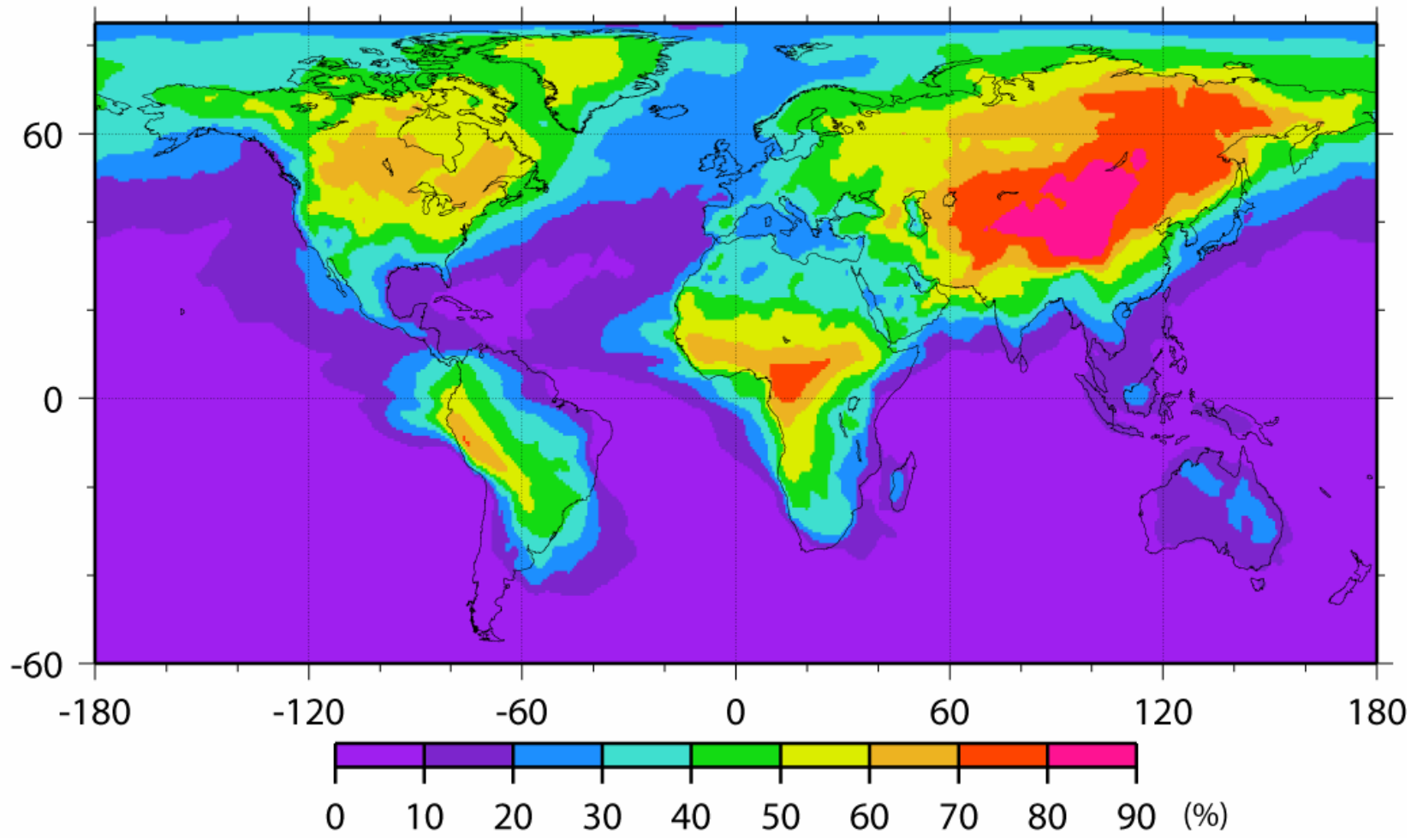
図2

タイ・バンコク上空の水蒸気の起源の時系列変化



降水中の陸上蒸発水の割合

1998/4-10



中国起源の水蒸気 1998/5/12 スナップショット

1998/05/12

