

クレジット:

UTokyo Online Education 東京大学朝日講座 2018 芳村圭

ライセンス:

利用者は、本講義資料を、教育的な目的に限ってページ単位で利用することができます。特に記載のない限り、本講義資料はページ単位でクリエイティブ・コモンズ 表示-非営利-改変禁止 ライセンスの下に提供されています。

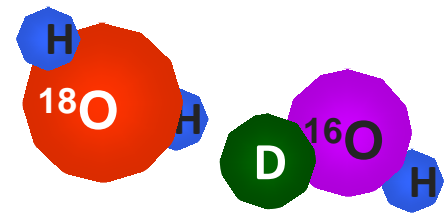
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

本講義資料内には、東京大学が第三者より許諾を得て利用している画像等や、各種ライセンスによって提供されている画像等が含まれています。個々の画像等を本講義資料から切り離して利用することはできません。個々の画像等の利用については、それぞれの権利者の定めるところに従ってください。





著作権の都合により、ここに挿入されていた画像を削除
しました
スクリプス海洋研究所のロゴ/日本学術振興会のロゴ
/Maryland大学のロゴ



AORI(東
京大学大
気海洋研
究所)

東京大
学生産
技術研
究所

東京大学 朝日講座 知の調和
—世界をみつめる 未来を創る—
2018年度:「居場所」の未来

水と人類の居場所

芳村圭

東京大学生産技術研究所

自己紹介(経歴)

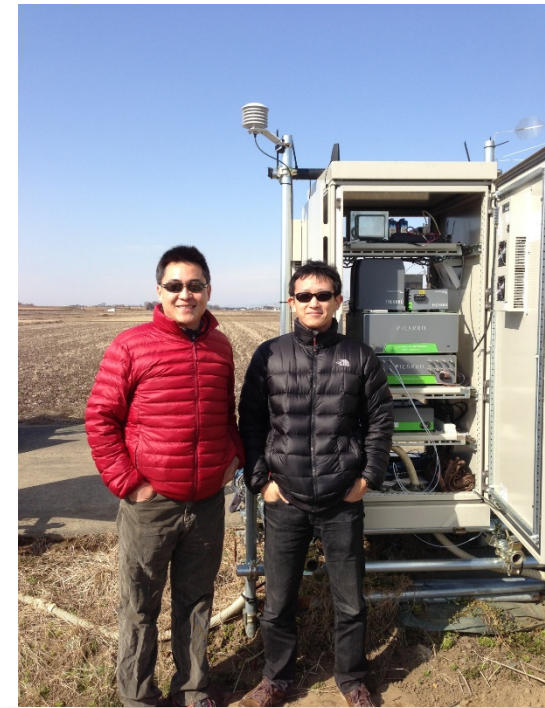
- 2000社基(アメリ研)卒・2002社基修了
– 2001の冬:ダーラム大ビジネススクールに留学
- 2002~: 科学技術振興事業団
- 2004~: 東大生研助手
- 2006: 論文博士
- 2006~2010: UCSDスクリプス海洋学研究所
- 2010~2016: 大気海洋研究所(生研兼務)
- 2016~: 生産技術研究所(大海研兼務)
- 2017~: 生研附属千葉実験所@柏



Scripps Institution of Oceanography, UCSD 2006-2010

著作権の都合により、ここに
挿入されていた画像を削除
しました
スクリプス海洋研究所のロ
ゴ





AORI(東京大学大気海洋研究所)

Atmosphere and Ocean Research Institute, U-Tokyo 2010-2016



東京大学 生産技術研究所

Institute of Industrial Science,
The University of Tokyo

東京大学生産技術研究所



2017/12

New!
Chiba Experimental
Station, Institute of
Industrial Science,
U-Tokyo, 2017-



UTokyo Online Education 東京大学朝日講座 2018 芳村圭 [CC BY-NC-ND](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

地球上の水の居場所

Oki and Kanae, 2006

©いらすとや



Taikan Oki, Shinjiro Kanae, 2006, "Global Hydrological Cycles and World Water Resources" Science, 313(5790), 1068-1072 より引用

- ✓ 水は居場所を変えながら地球規模で常に巡っている。
- ✓ 居場所や巡り方は様々な過程のバランスの上になりたっており、局所的な変化が全体に影響を及ぼす。

**Thailand
from
Satellite
(Aqua/Terra
MODIS
COMPOSITE
March 2002
IIS, UT)**



MODIS(NASA)
<https://modis.gsfc.nasa.gov/gallery/showall.php>

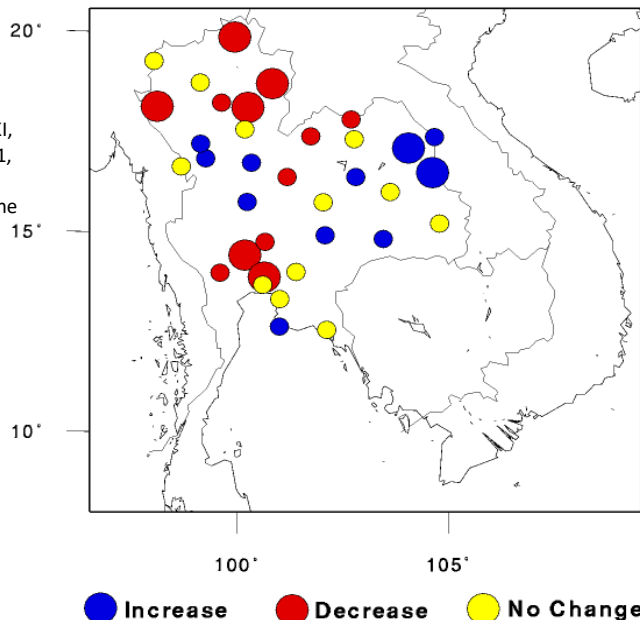
タイにおける観測月降水量のトレンド (1951 – 1994) Kanae et al., 2001

MODIS(NASA)
<https://modis.gsfc.nasa.gov/gallery/showall.php>



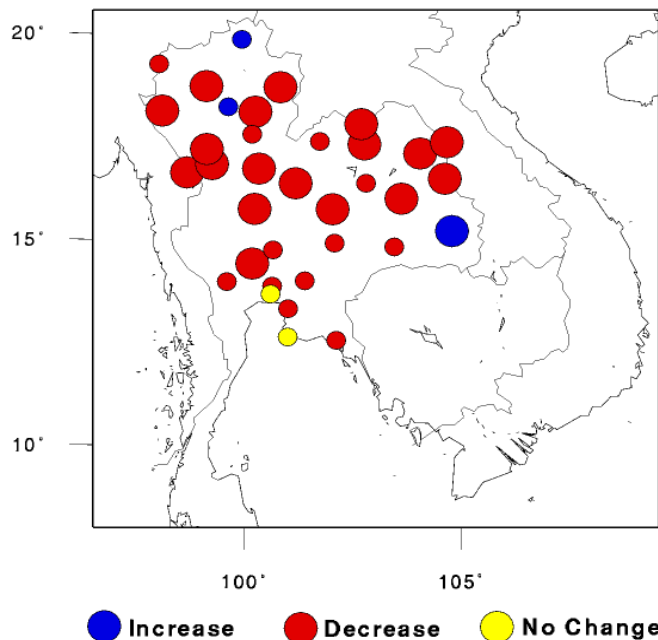
SHINJIRO KANAE, TAIKAN OKI,
AND KATUMI MUSIAKE, 2001,
"Impact of deforestation on
regional precipitation over the
Indochina Peninsula", J
Hydrometeor. t, 2, 51-70.

Observation (August)



8月

Observation (September)



9月

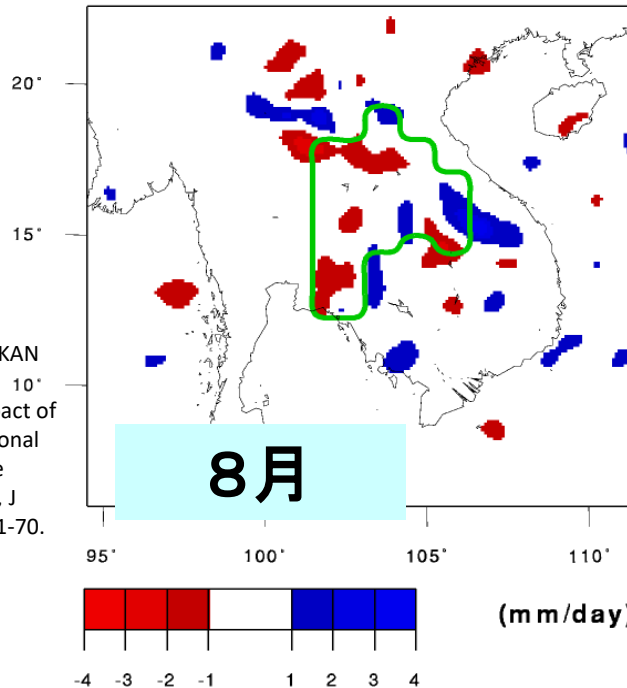
SHINJIRO KANAE, TAIKAN
OKI, AND KATUMI
MUSIAKE, 2001, "Impact
of deforestation on
regional precipitation
over the Indochina
Peninsula", J
Hydrometeor. t, 2, 51-70.

森林伐採の影響で降水量が減少した。
なぜ9月のみ？

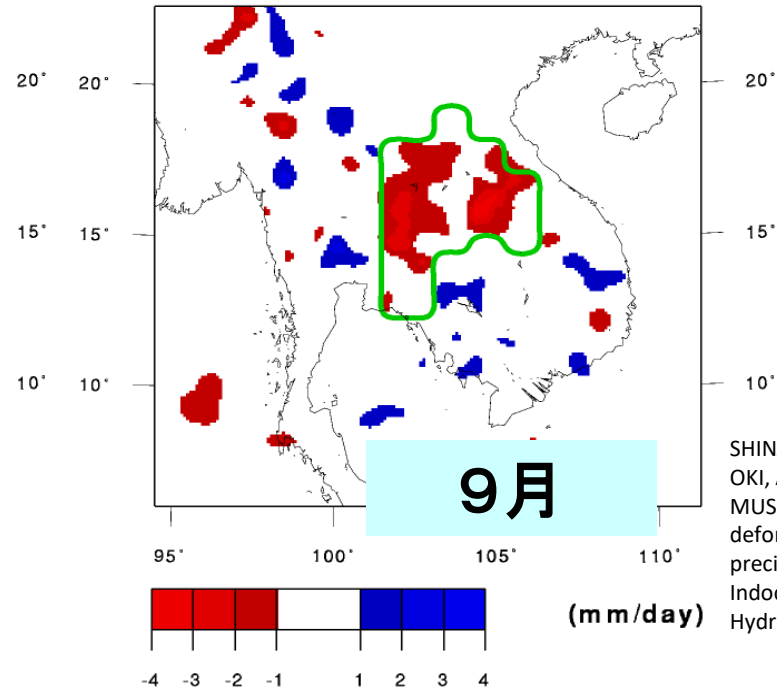
数値シミュレーションによる降水量変化 森林なしー森林あり

(Kanae et al.,2001)

Aug. Rainfall (CRRT-VEGT)



Sep. Rainfall (CRRT-VEGT)



SHINJIRO KANAE, TAIKAN OKI, AND KATUMI MUSIAKE, 2001, "Impact of deforestation on regional precipitation over the Indochina Peninsula", J Hydrometeor. t, 2, 51-70.

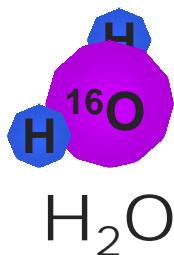
SHINJIRO KANAE, TAIKAN OKI, AND KATUMI MUSIAKE, 2001, "Impact of deforestation on regional precipitation over the Indochina Peninsula", J Hydrometeor. t, 2, 51-70.

森林伐採の影響で降水量が減少した。
ではなぜ9月のみ？

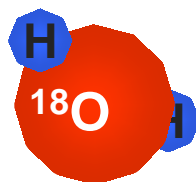
話は変わって...

水の同位体とは？

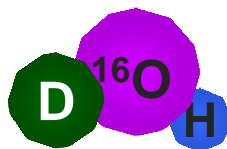
「軽い水」



「重い水」



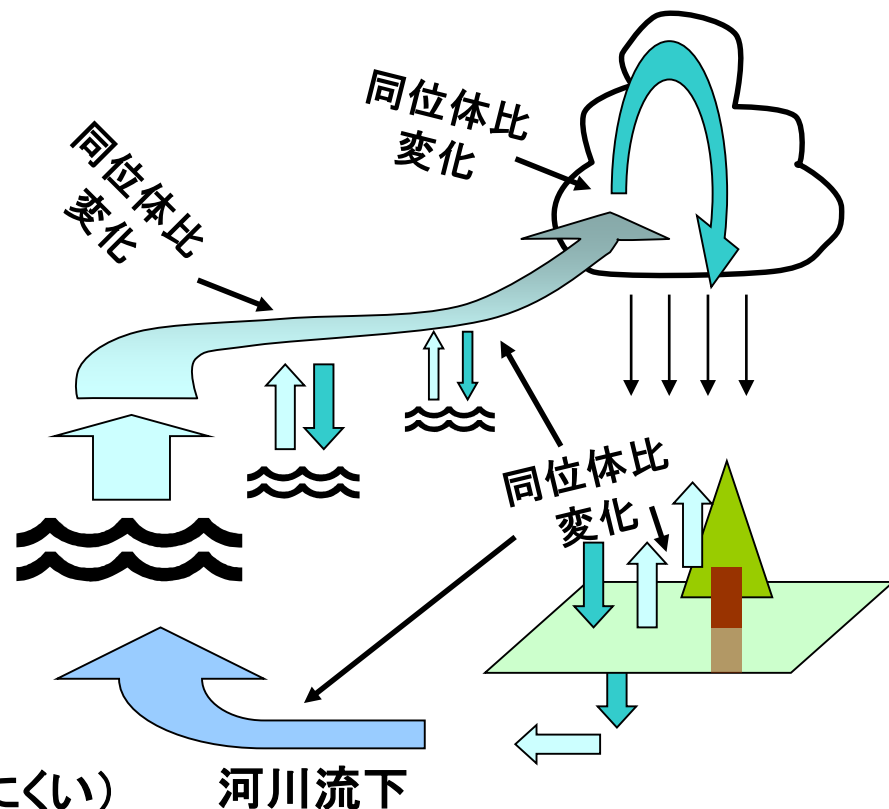
0.20%



0.016%

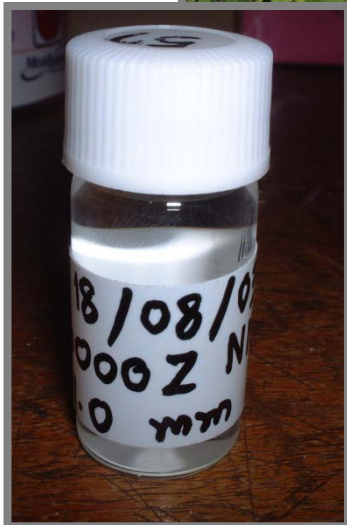
相変化の際、偏りが生じる

(重い同位体の方が、凝結しやすく、蒸発しにくい)



- ✓ 自然に存在する、水の「タグ」。見えない「水の色」。
- ✓ 水の相変化によって、「色」(同位体比)が変わる。
→ 温度や雨量の指標として使用可能。

同位体比の測定と 水のサンプリング



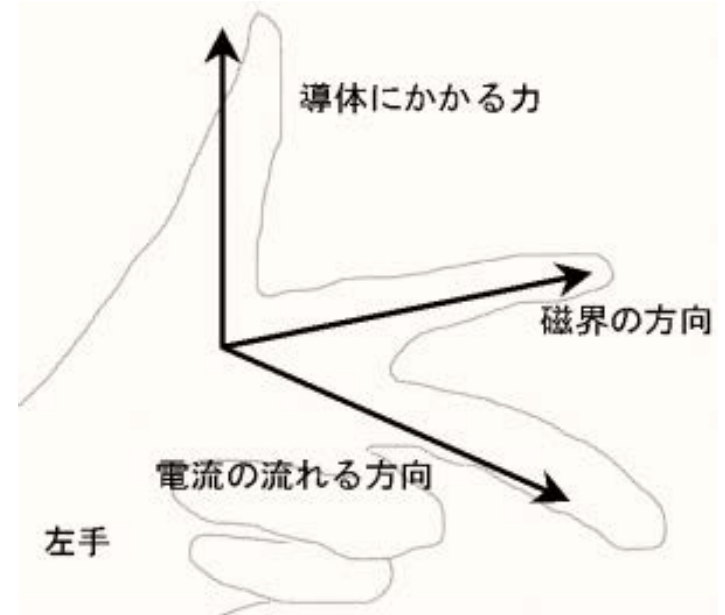
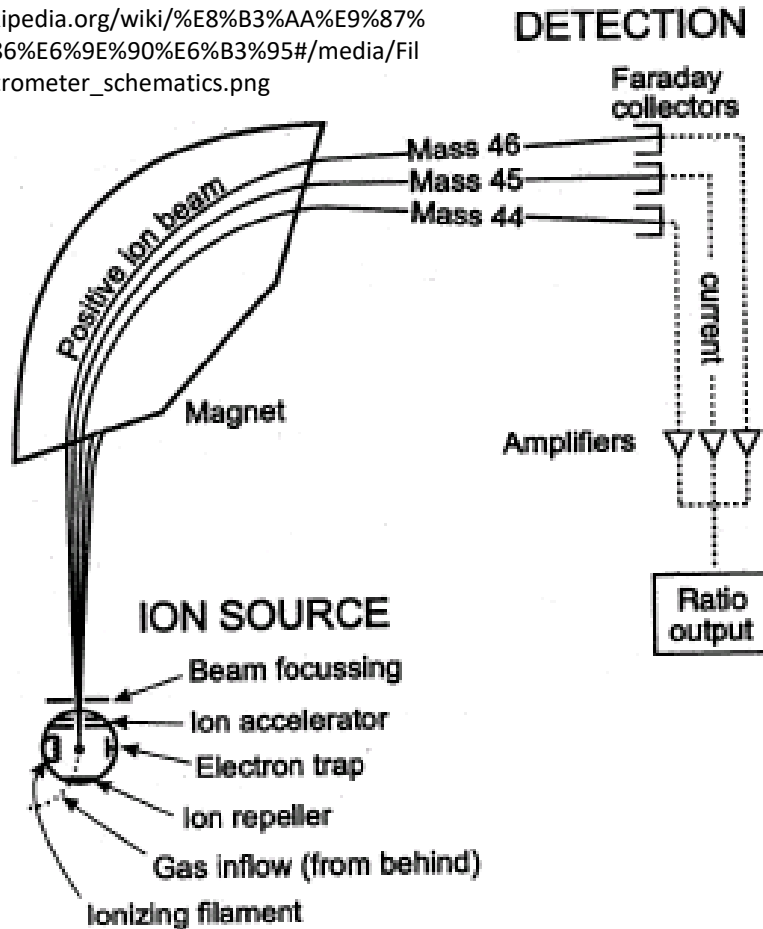
平衡装置



質量分析計

質量分析の仕組み

https://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%B3%AA%E9%87%8F%E5%88%86%E6%9E%90%E6%B3%95#/media/File:Mass_spectrometer_schematics.png

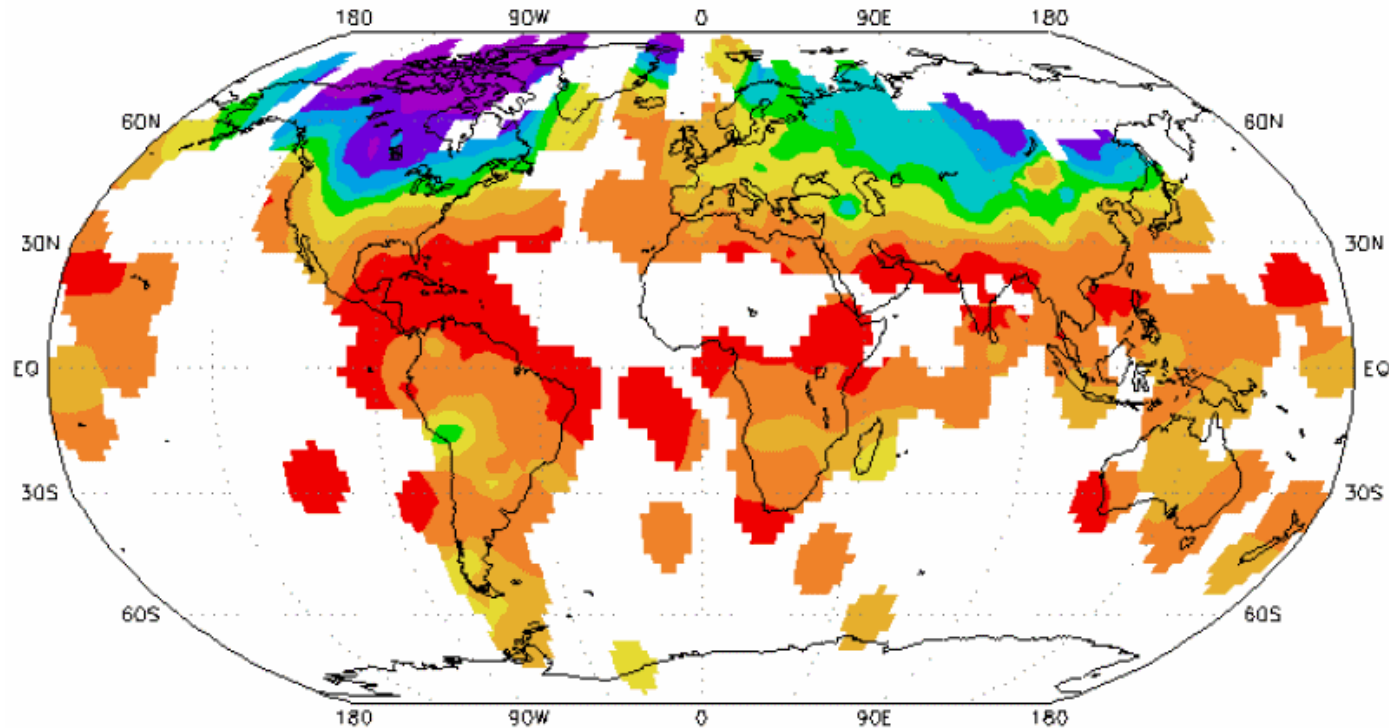


https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%83%AC%E3%83%9F%E3%83%B3%E3%82%B0%E3%81%AE%E5%B7%A6%E6%89%8B%E3%81%AE%E6%B3%95%E5%89%87#/media/File: Fleming%27s_Left_Hand_Rule.png CC-BY-SA


Ion source

全球での降水同位体比観測網 (GNIP by IAEA/WMO, 1960-)

Weighted Jan. $\delta^{18}\text{O}$



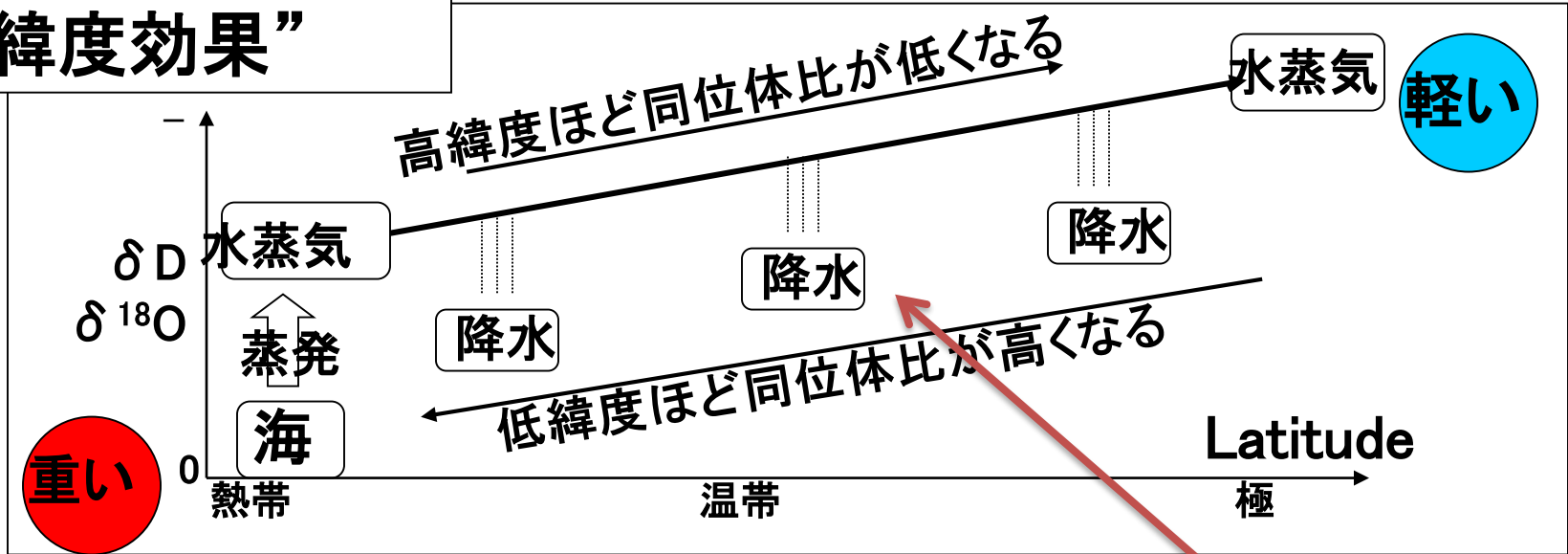
<http://www-naweb.iaea.org/naweb/napc/ih/documents/userupdate/Waterloo/>

「軽い水」  (%‰) 「重い水」

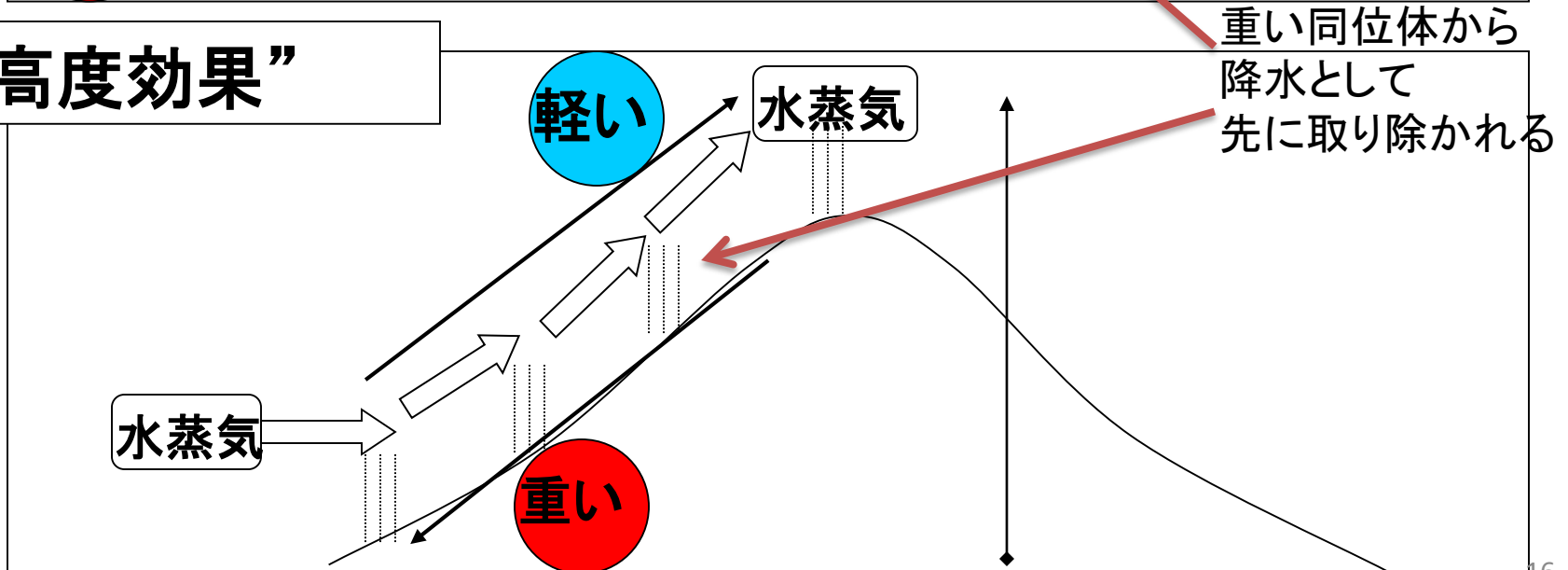
- 降水同位体比と気温(中高緯度)・降水量(低緯度)との良い相関を発見した(Dansgaard, 1964) → グリーンランドの気温復元に発展

地球水循環と降水同位体比の関係

“緯度効果”

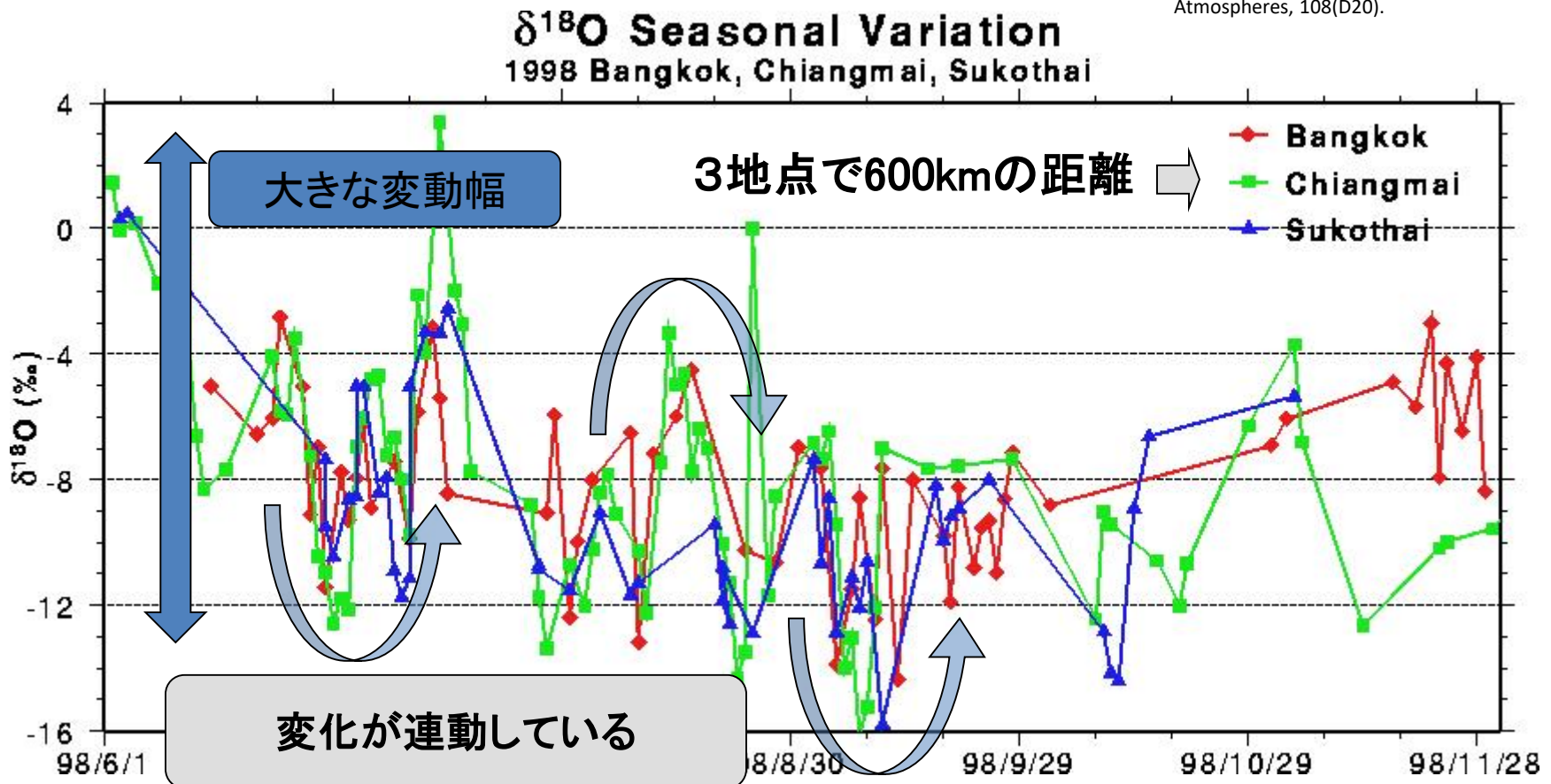


“高度効果”

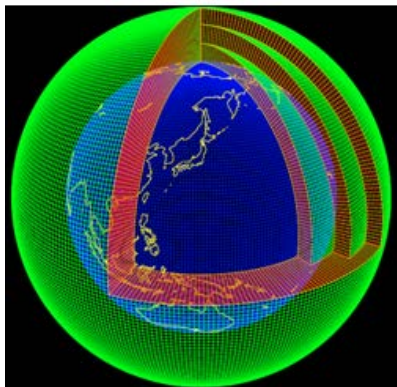
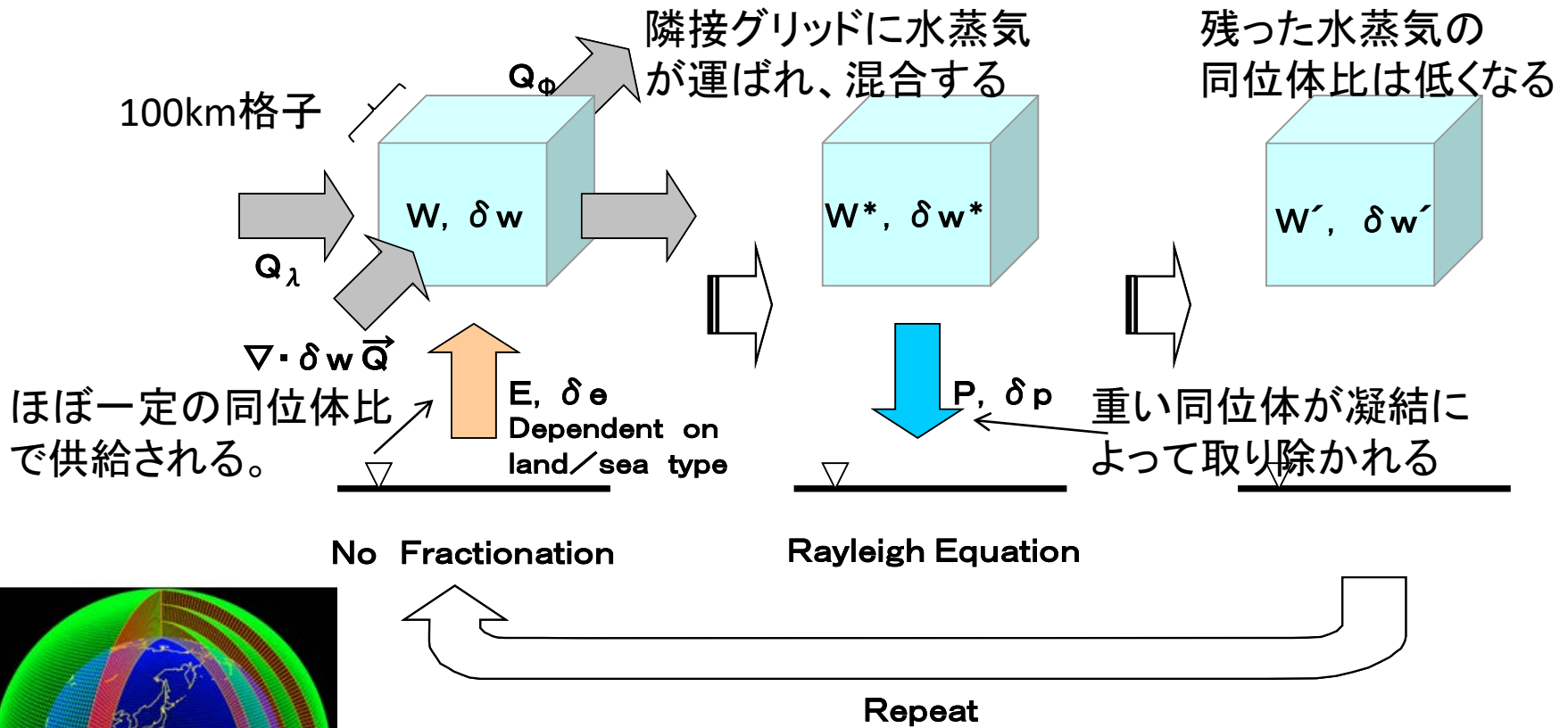


降水同位体比の時系列変動 (タイ: 1998年6月～11月)

Yoshimura, K., T. Oki, N. Ohte, and S. Kanae, 2003,
"A quantitative analysis of short-term ^{18}O
variability with a Rayleigh-type isotope circulation
model.", *Journal of Geophysical Research*
Atmospheres, 108(D20).

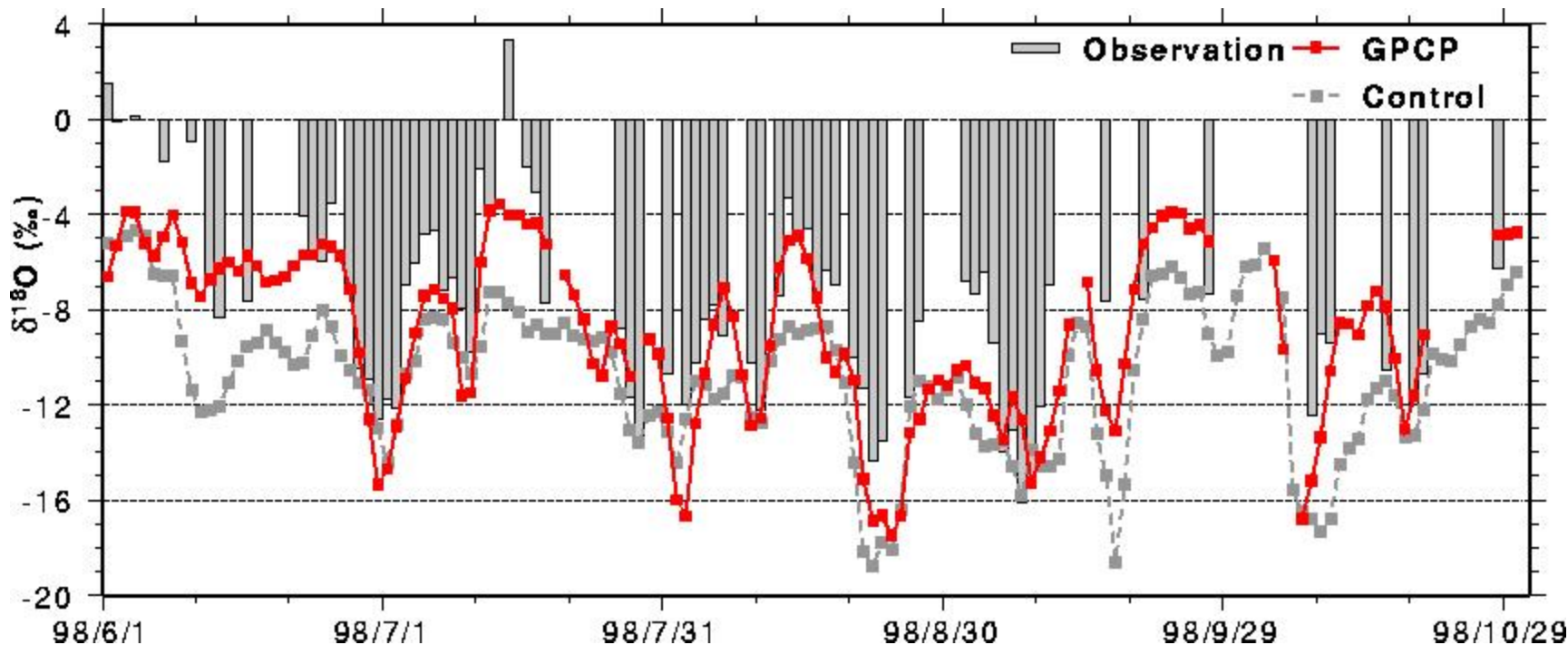


降水同位体比の大きくかつ連動した 時間変動はどうやって生まれたのか？ → 全球モデルシミュレーション



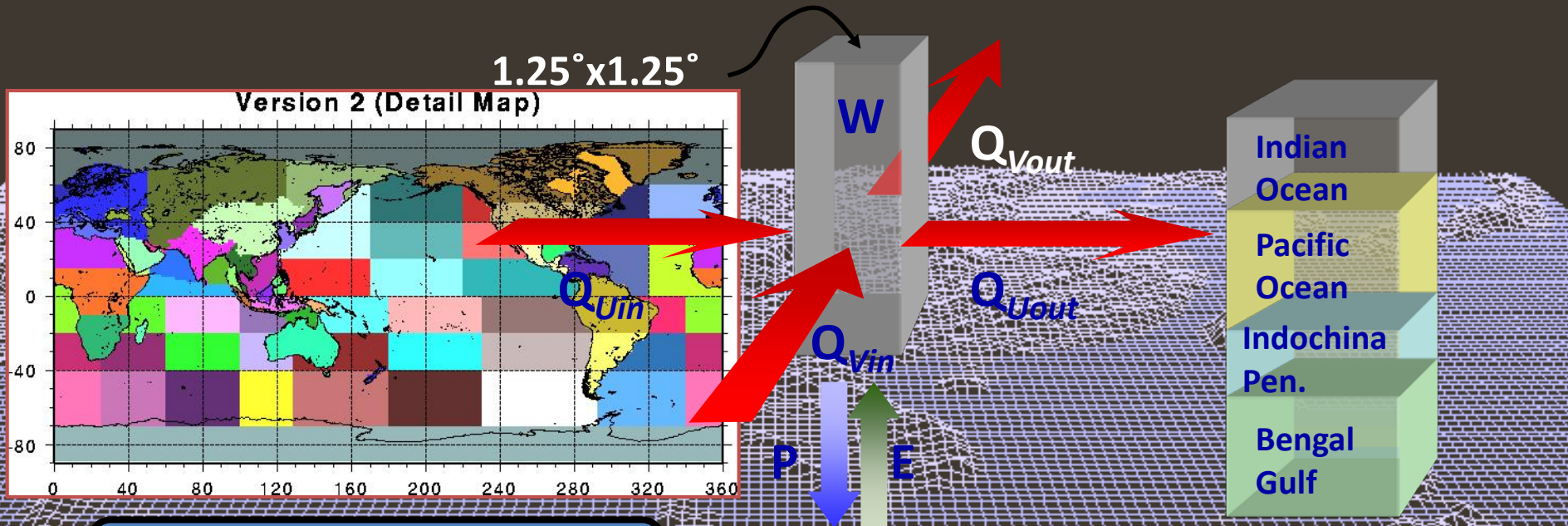
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-1.html>

降水同位体比日々変動の再現 タイ・1998年雨季 (Yoshimura et al., 2003)



- ✓ 大規模な水蒸気の輸送過程が降水同位体比の大きくかつ連動した変動を支配していた。
- ✓ モデル中の大規模な水蒸気の輸送が正しいことが観測データによって裏付けられた。

応用：雨の起源を調べる。 水蒸気起源別循環解析の構築

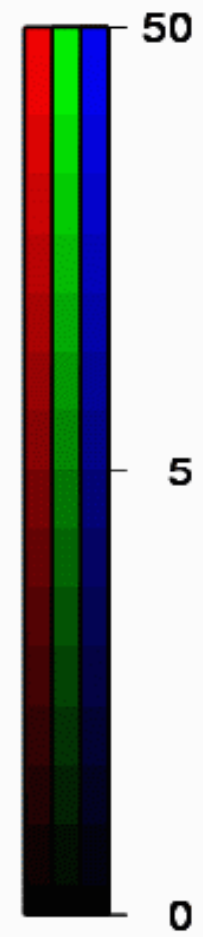
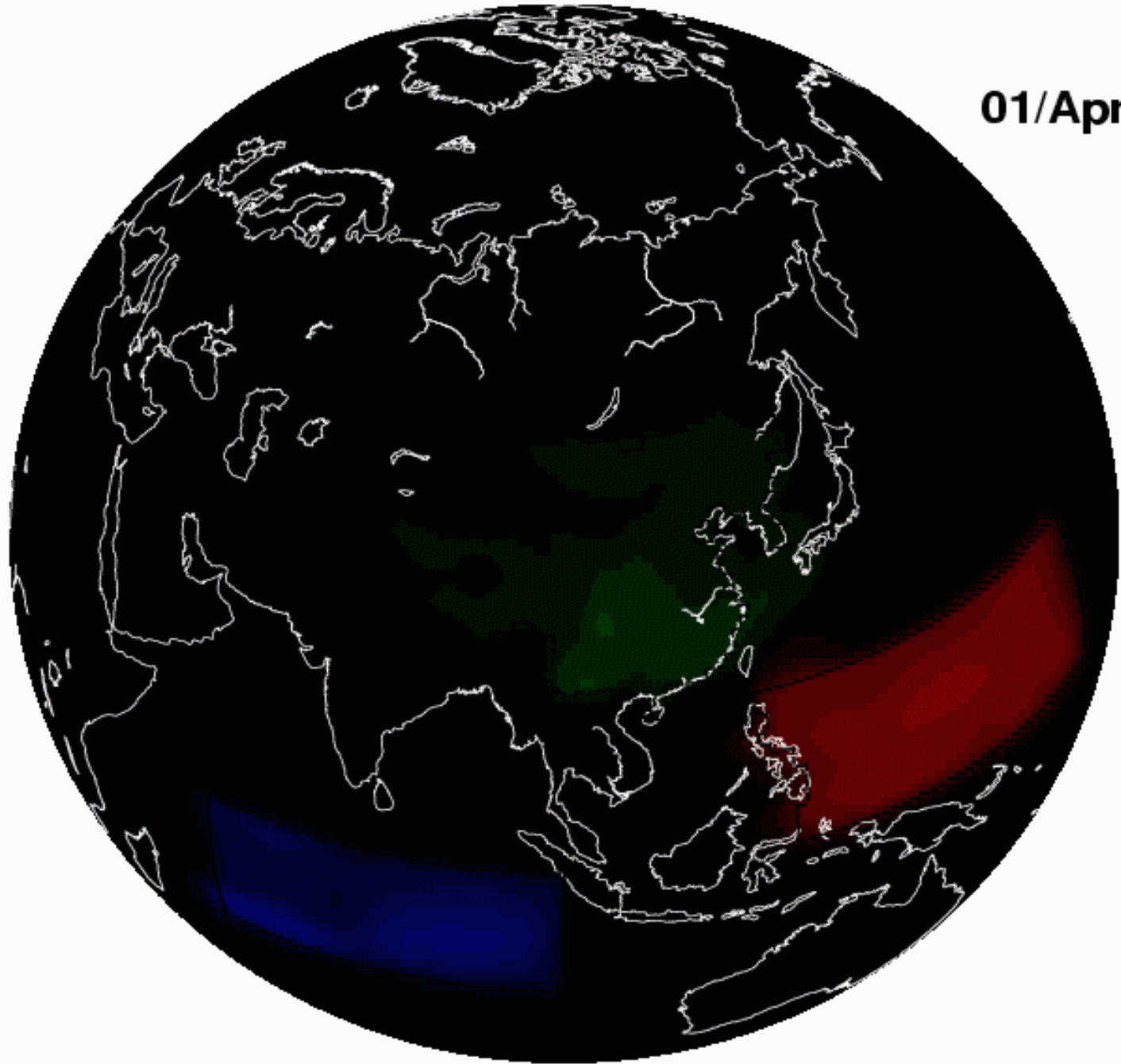


水蒸気に出身属性をつける
海：60，陸：20種類

鉛直一層のグリッドボックス
タイムステップ(10分)で完全混合を仮定
可降水量，水蒸気Flux，降水量，蒸発量
→外部(GAME再解析等)から与える

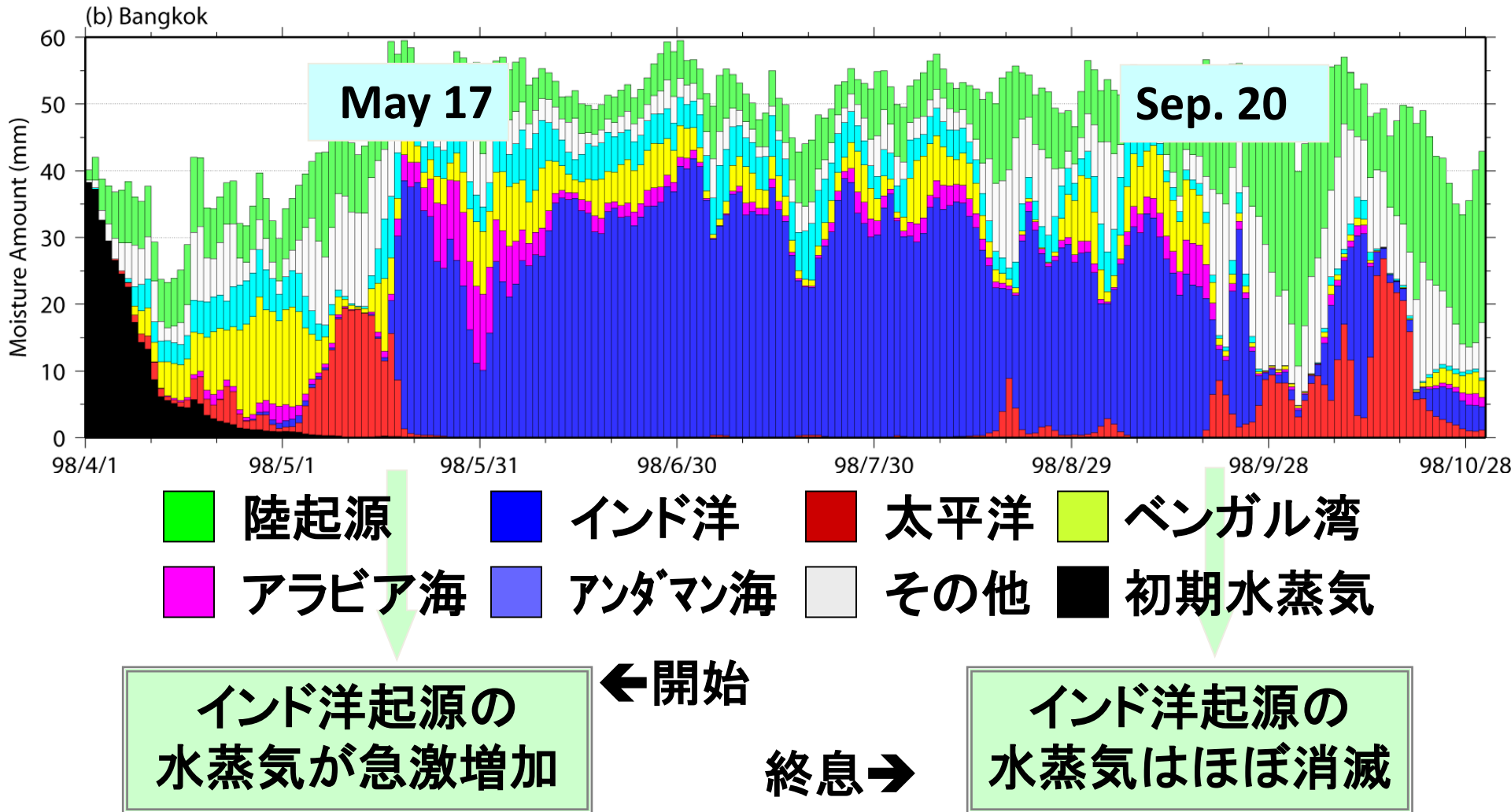
任意の時間・場所で水蒸気の
起源内訳を計算

01/Apr, 1998



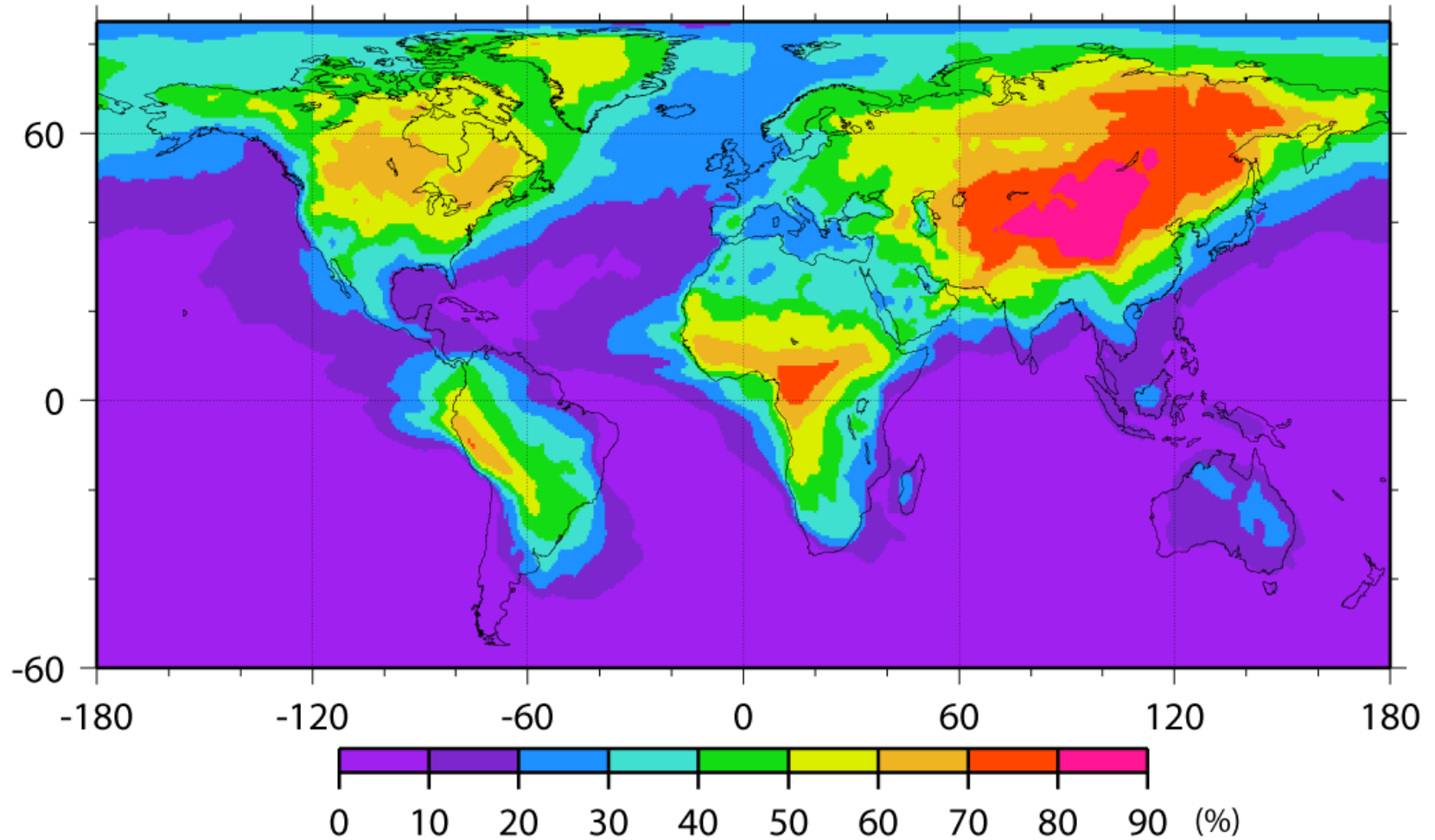
(mm)

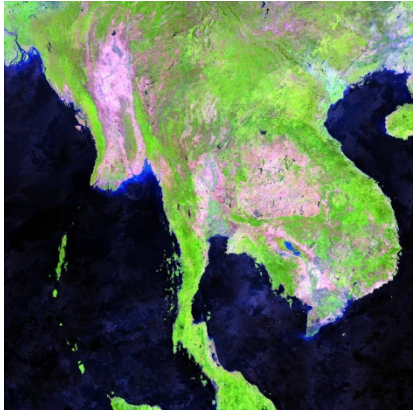
タイ・バンコク上空の水蒸気の起源の 日単位時系列変化



降水中の陸上蒸発水の割合

Averaged Continental Cycling Ratio over 1998/04-10

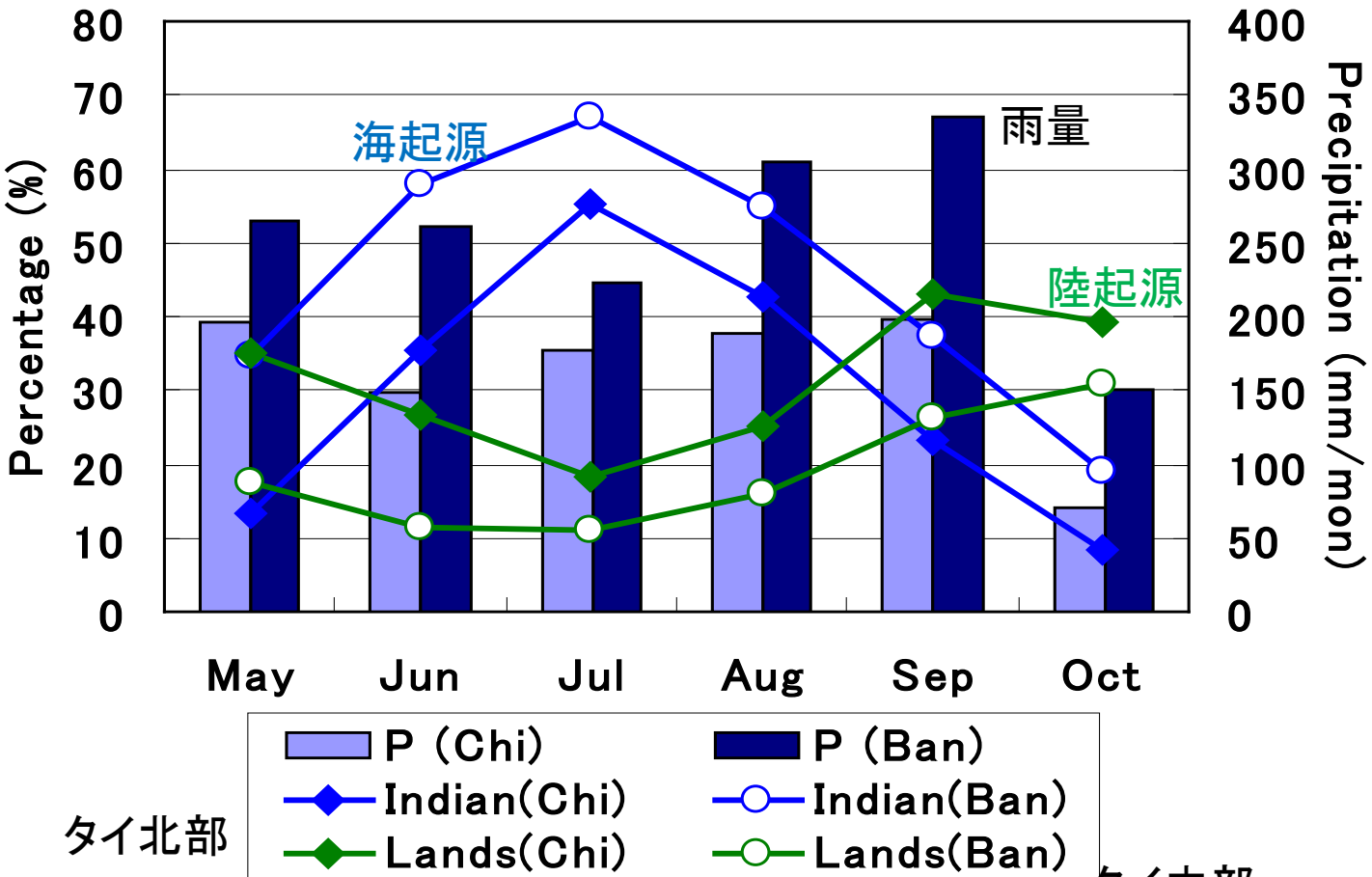




MODIS(NASA)
<https://modis.gsfc.nasa.gov/gallery/showall.php>

森林伐採の影響で降水量が減少した。
 なぜ9月のみ？

タイにおける陸上起源の水の割合の推移



タイ北部

タイ中部

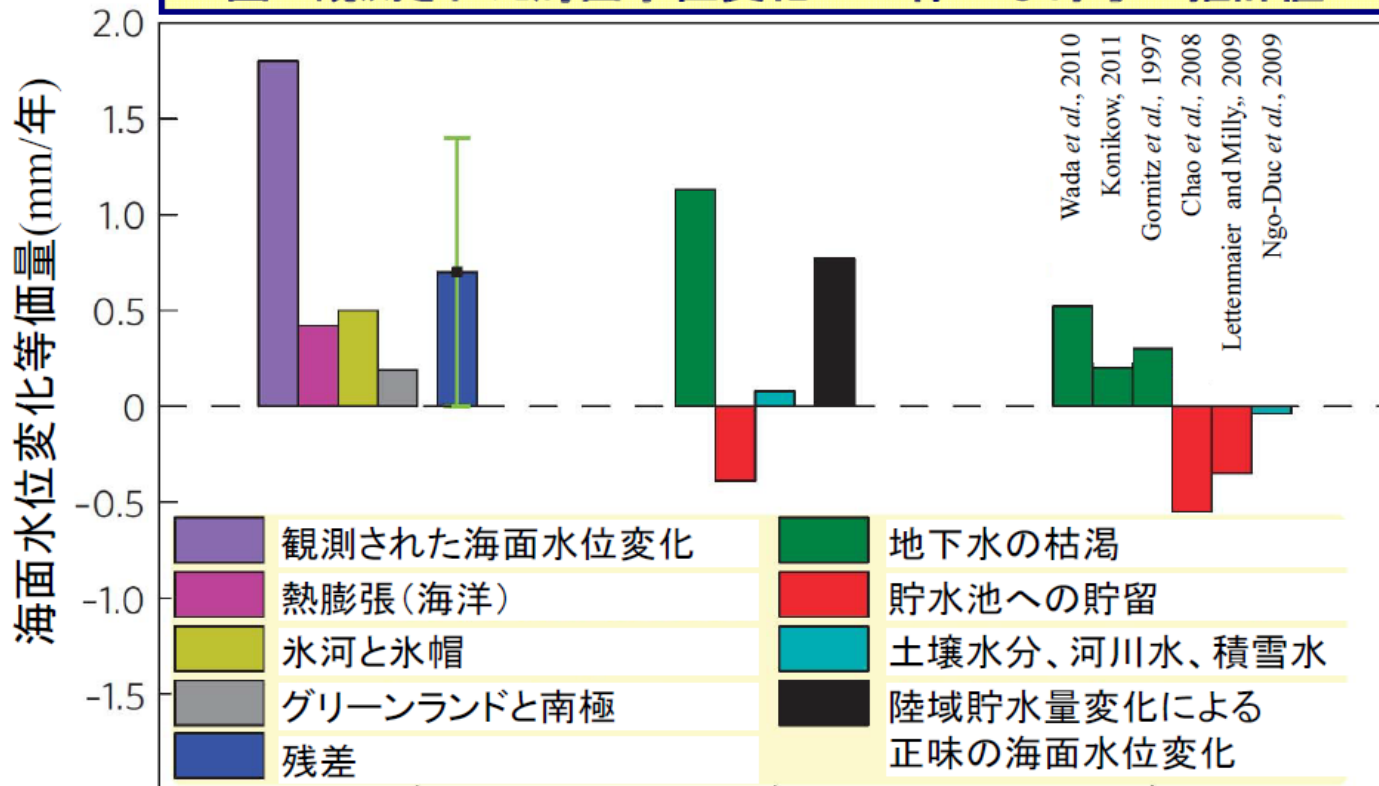
人類による水循環への影響



<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/>



図2: 観測された海面水位変化への様々な寄与の推計値



IPCC第4次評価報告書

本研究

他の研究

Pokhrel et al., 2012

Yadu N. Pokhrel, Naota Hanasaki, Pat J-F. Yeh, Tomohito J. Yamada, Shinjiro Kanae & Taikan Oki, 2012, "Model estimates of sea-level change due to anthropogenic impacts on terrestrial water storage" Nature Geoscience, 5, 389-392.

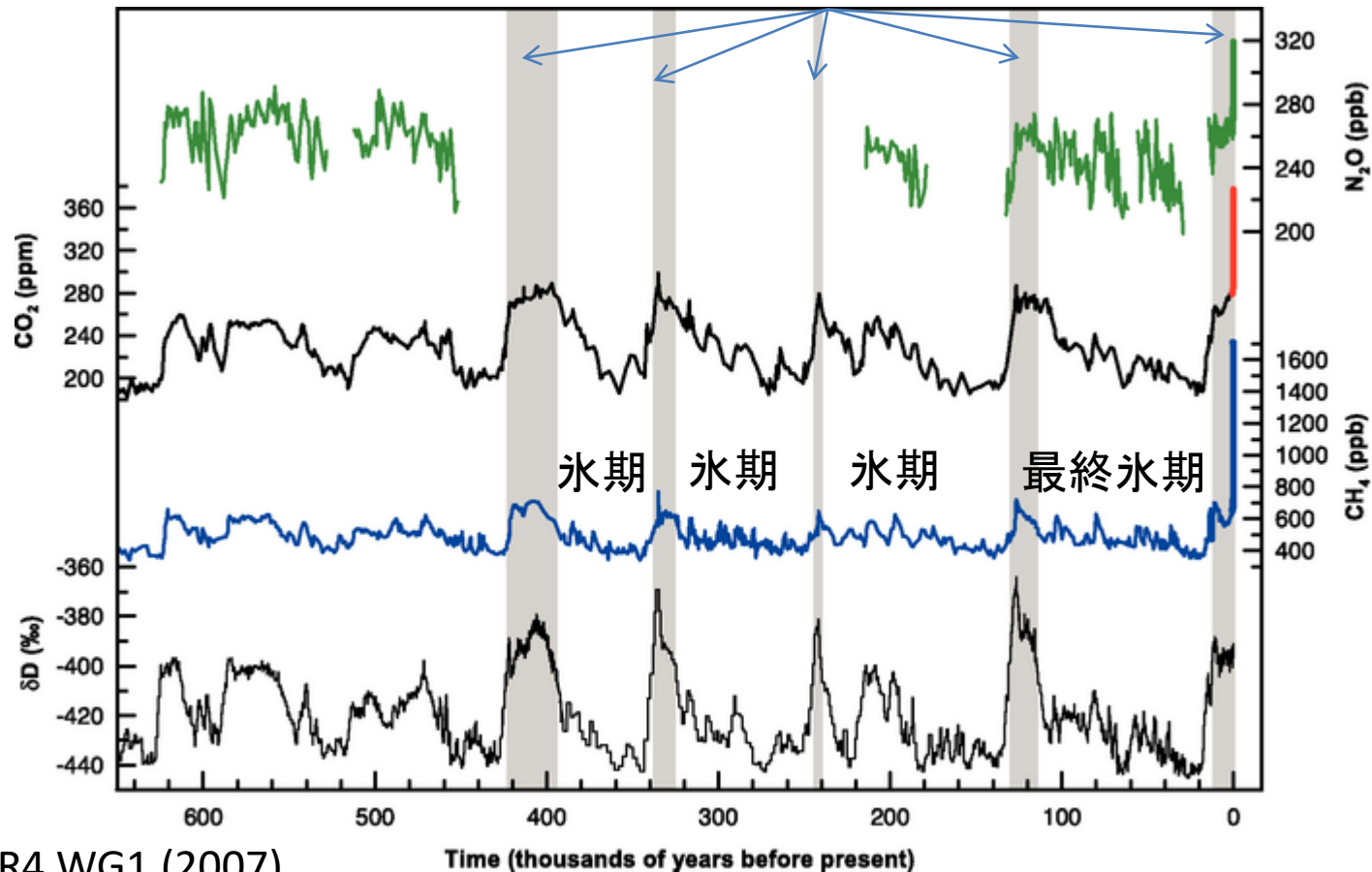
人類とは

- 教科書的には、ホモ・サピエンス
- 20万年前くらいから出現、10万年前くらいから世界に分布
- 1万年前くらいから居場所(文明)を築く。

その頃地球は

南極アイスコアデータ

間氷期



Solomon, S., D. Qin, M. Manning, R.B. Alley, T. Berntsen, N.L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J.M. Gregory, G.C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B.J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, R. Somerville, T.F. Stocker, P. Whetton, R.A. Wood and D. Wratt, 2007, "Technical Summary. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change" Cambridge University Press..

IPCC AR4 WG1 (2007)

● 今後どうなるのか？地球温暖化問題

日本での気候変動予測研究

パンフレット名: 統合的気候モデル高度化プログラム

発行元: 文部科学省

発行年: 2017年

http://www.jamstec.go.jp/tougou/product/images/tougou_brochure2018_jp.pdf

http://www.mext.go.jp/b_menu/about_link.htm

A 全球規模の気候変動予測と基盤的モデル開発
領域代表: 渡部 雅浩 (東京大学大気海洋研究所 教授)

課題	代表者
(i) 地球環境変動予測の向上に資する気候モデル高度化	
a 近未来気候変動予測とCMIP6実現の推進	建部 洋晶 海洋研究開発機構 ユニ
b 物理プロセスの高度化による気候モデル開発	鈴木健太郎 東京大学大気海洋研究
c 陸面モデルの高度化	芳村 圭 東京大学生産研 研究)
(ii) 気候変動予測の不確実性低減と科学的知見の深化	
a 気候感度に関する不確実性の理解と低減	小倉 知夫 国立環境研究所 主任研
b 過去の気候変動・異常気象の要因分析と将来予測	渡部 雅浩 東京大学大気海洋研究)
c 全球非静力学モデルによる雲・降水・循環過程の理解	野田 暁 海洋研究開発機構 ユニ

統合P
(FY2017~)



TOUGOU
Integrated Research Program
for Advancing Climate Models

気候変動リスク情報
創生プログラム
(温暖化対策立案の基盤情報提供)



パンフレット名: 気候変動リスク情報創生プログラム
発行元: 文部科学省 研究開発局環境エネルギー課
発行年: 2013年

https://www.jamstec.go.jp/sousei/jp/product/images/Sousei_Brochure_JP.pdf
http://www.mext.go.jp/b_menu/about_link.htm

2022: AR6

地球上に人類の居場所はあり続けるのか？

背景

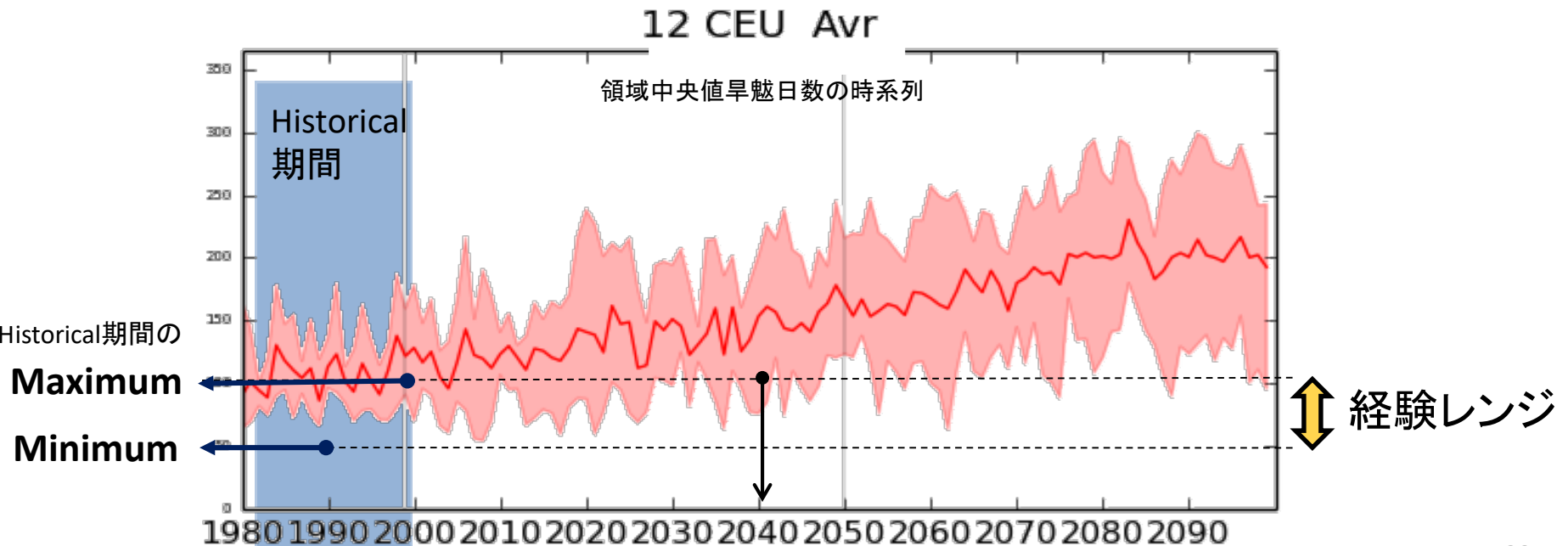
- 既存の水資源管理基盤は過去のデータに基づき経験的・統計的に計画されている
- 統計的な性質が過去のデータと異なるようになるならば新たに何らかの対策が必要

Timing of perception change for drought (TPCD)

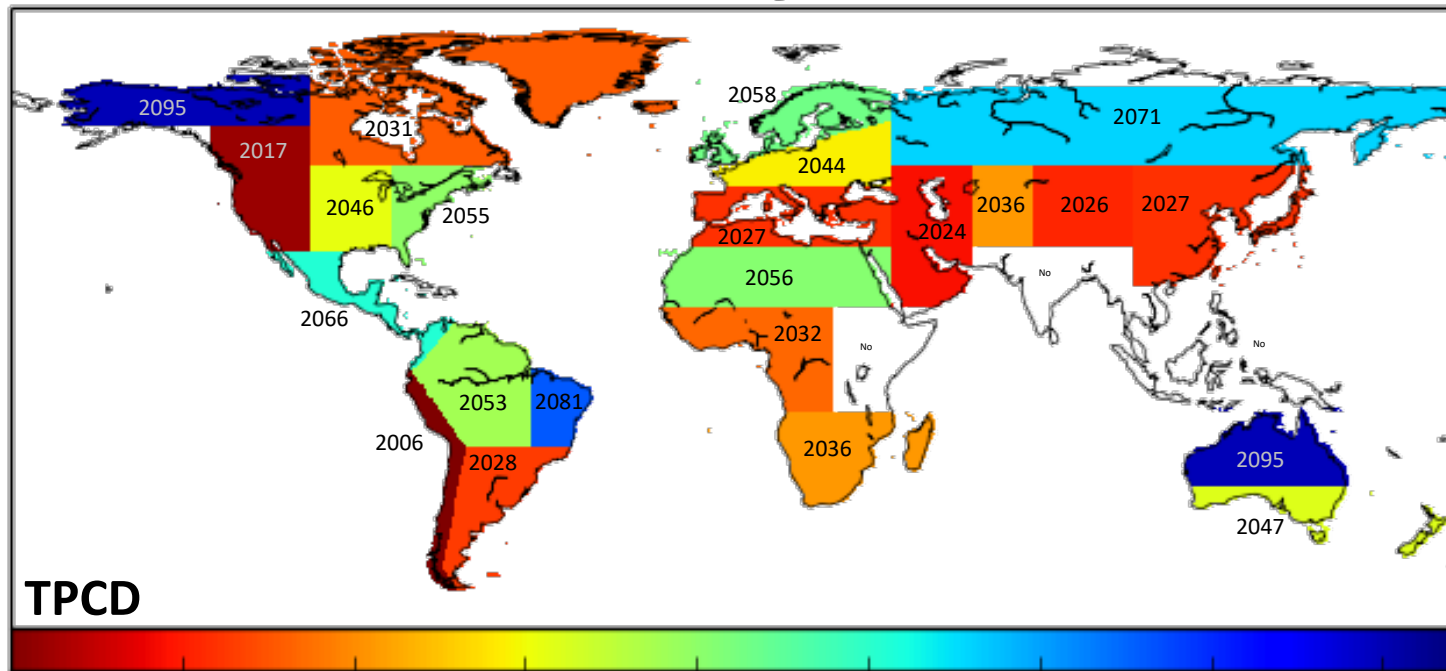
いつ、旱魃が未経験のフェーズに移行するのか？

- 過去に経験した範囲から逸脱し、その後経験範囲内に戻らなくなる時期を調べる
- 領域中央値の時系列を解析

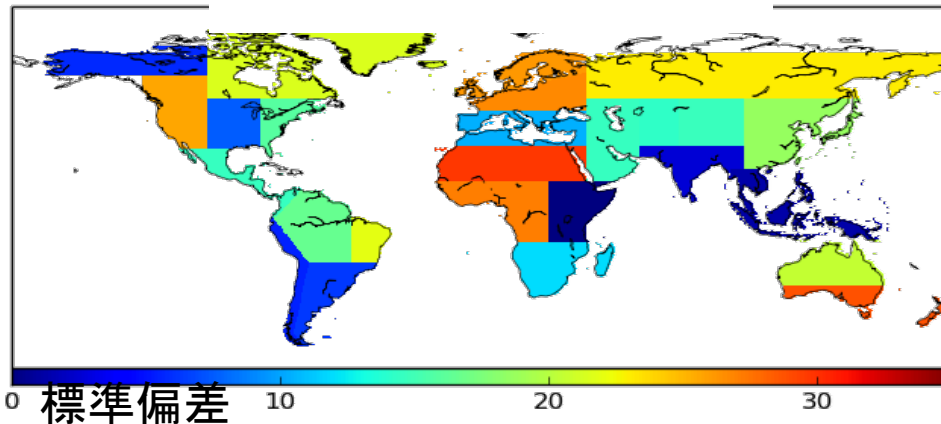
[Mora et al. 2013]



TPCD: 温暖化が進行しいつ“未体験の世界”に突入するか



2015 2025 2035 2045 2055 2065 2075 2085 2095 [年]



- チリ(2006), アメリカ西部(2017), 地中海域(2027), 中東(2024), 中央アジア(2036), 中国(2026, 2027)ではかなり早期にHist期間の経験範囲から逸脱
- GCM不確実性を考慮しても26地域中13の地域で2050年代までにTPCDを迎える

➡ 残された時間は限られており, 迅速な対応策の立案と行動が必要

まとめ

- 水の居場所に人類の居場所あり。
- 文明は水の居場所を(大きく)変える。
- 今後、どうするべきか？ → グループワーク

グループワーク

- テーマ：
「今後起こりうる水の居場所の変化に対して人類はどう対応するべきか」
 - (考えるにあたり) 足りない知識はなにか？
 - 過去のレッスンは存在するか？どう使えるか？
 - 予測は可能か？どう使うべきか？
 - 人類にとって望ましい水のあり方とは？
 - 水にとって望ましい人類のあり方とは？
 - そもそも対応すべきなのか？
 - etc.