

第2回気象サイエンスカフェ北陸  
台風の故郷  
熱帯気象へようこそ

富山大学 理学部  
安永 数明

きょうのタイトルは

「台風のご郷 熱帯気象へようこそ」

熱帯気象で最も重要な

(と個人的に考える)

MJOについて説明します。

難しい箇所はその都度質問してください、

途中でも結構です。

まずは、自己紹介です

# 現在は



The screenshot shows the homepage of the Laboratory of Meteorology and Climatology at Toyama University. The header includes the university logo and the text '理学部地球科学科 気象学・気候学研究室 Laboratory of Meteorology and Climatology'. A navigation menu on the left lists: Top, 教員の紹介, 講義概要・資料, 研究室の活動, 研究業績, 研究関連情報, リンク, お知らせ, and ブログ(外部). The main content area features a large banner image of a field under a blue sky with clouds. Below the banner, there are two main sections: a welcome message and a list of recent news items.

English

理学部地球科学科  
気象学・気候学研究室  
Laboratory of Meteorology and Climatology

MENU

- Top
- 教員の紹介
- 講義概要・資料
- 研究室の活動
- 研究業績
- 研究関連情報
- リンク
- お知らせ
- ブログ(外部)

富山大学 気象学・気候学研究室ホームページへようこそ

現場観測データ、衛星データ、客観解析データ、数値モデルを複合的に活用しながら、雲の発生・発達過程を中心とした熱帯・亜熱帯域の気象の研究や、富山を中心とした環日本海の気象に関する研究を行っています。

お知らせ (直近10件のみ、過去のお知らせは[こちら](#))

2014.01.06	<a href="#">論文が出版されました</a>
2014.01.06	<a href="#">授業資料更新しました(地球流体力学第10回, 地球科学概論II第2回)</a>
2013.12.16	<a href="#">授業資料更新しました(地球流体力学第9回)</a>
2013.12.01	<a href="#">授業資料更新しました(地球流体力学第8回)</a>
2013.11.25	<a href="#">気象学会秋季大会に参加しました(予稿)</a>
2013.11.25	<a href="#">授業資料更新しました(地球流体力学第7回, 計測演習第12, 13回)</a>
2013.11.14	<a href="#">EarthCare Projectの研究会合に参加しました(発表資料)</a>
2013.11.8	<a href="#">授業資料更新しました(地球流体力学第6回, 計測演習第10, 11回)</a>
2013.11.1	<a href="#">授業資料更新しました(地球流体力学第5回, 計測演習第8, 9回)</a>
2013.10.25	<a href="#">授業資料更新しました(地球流体力学第4回)</a>
2013.10.24	<a href="#">研究室の活動を更新しました</a>

Contact Information  
<yasunaga@sci.u-toyama.ac.jp>

富山大学理学部

地球科学科で**気象**を

専門に教えています



# ちょっと前までは



The screenshot shows the JAMSTEC website homepage. At the top, there is a navigation bar with links for 'トップページ', 'JAMSTECについて', '研究紹介', '広報活動', 'データベース', 'ミュージアム', and 'キッズ'. Below this is a main banner with the text '地球の未来を求めて JAMSTECの重点研究と開発' and 'ラボシステム 研究領域を融合し先進的な研究開発を進める'. There are also several news articles and a sidebar with various announcements and information.

JAMSTECという組織の  
地球環境変動領域という  
ところで働いていました

何をしていたかということ  
船に2ヶ月近く乗船して、



風船を揚げて、  
上空の状態を観  
測したり

何をしていたかということ

船に2ヶ月近く乗船して、



海の中の状態

を測ったりし

ていました

マグロを釣っているわけではありません。



また、飛行機に乗って



発達した積乱雲  
に近づいていって



# 飛行機から



観測測器を、  
落としたり  
していました。



# 南の島に行って



風船を揚げて、上空の  
状態を観測したりして  
いました



でも何故、**多額のお金**を使って、

はるばる**南の島**まで行って

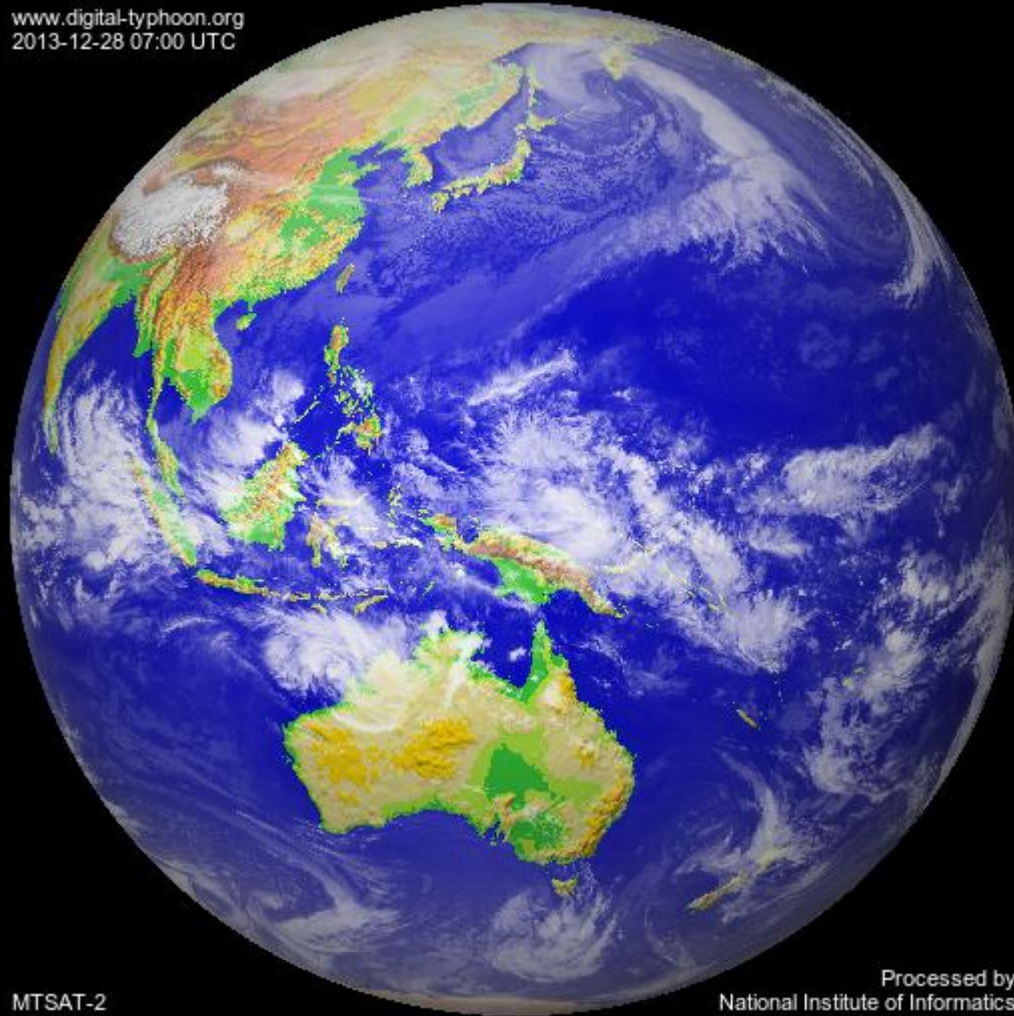
観測するのでしょうか？

因みに船の運航費抜きで、風船などの観測費は、

どれぐらいかかっていると思いますか？

# と、その前に

www.digital-typhoon.org  
2013-12-28 07:00 UTC



MTSAT-2

Processed by  
National Institute of Informatics

動画を見てください。 熱帯と中緯度の違いは？

デジタル台風より引用 (<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>)



答え、 というわけではありませんが

- 中緯度に比べて、雲があまり回転して

いない？

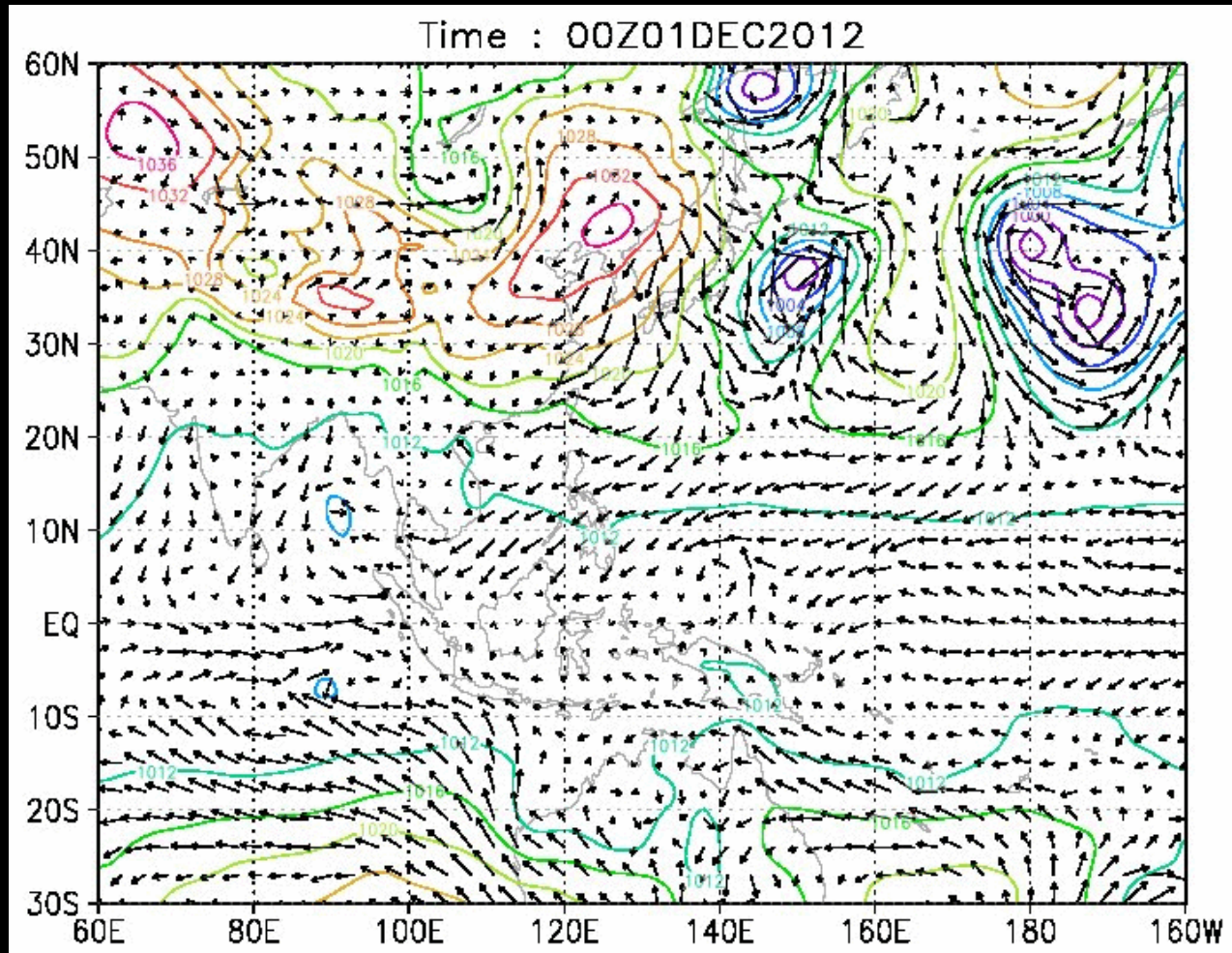
- 中緯度に比べて、粒状の雲が多い？

- 雲の移動は、中緯度では西から東、熱帯

では東から西？

もう一度見てみましょう

# 次に天気図を見てみましょう



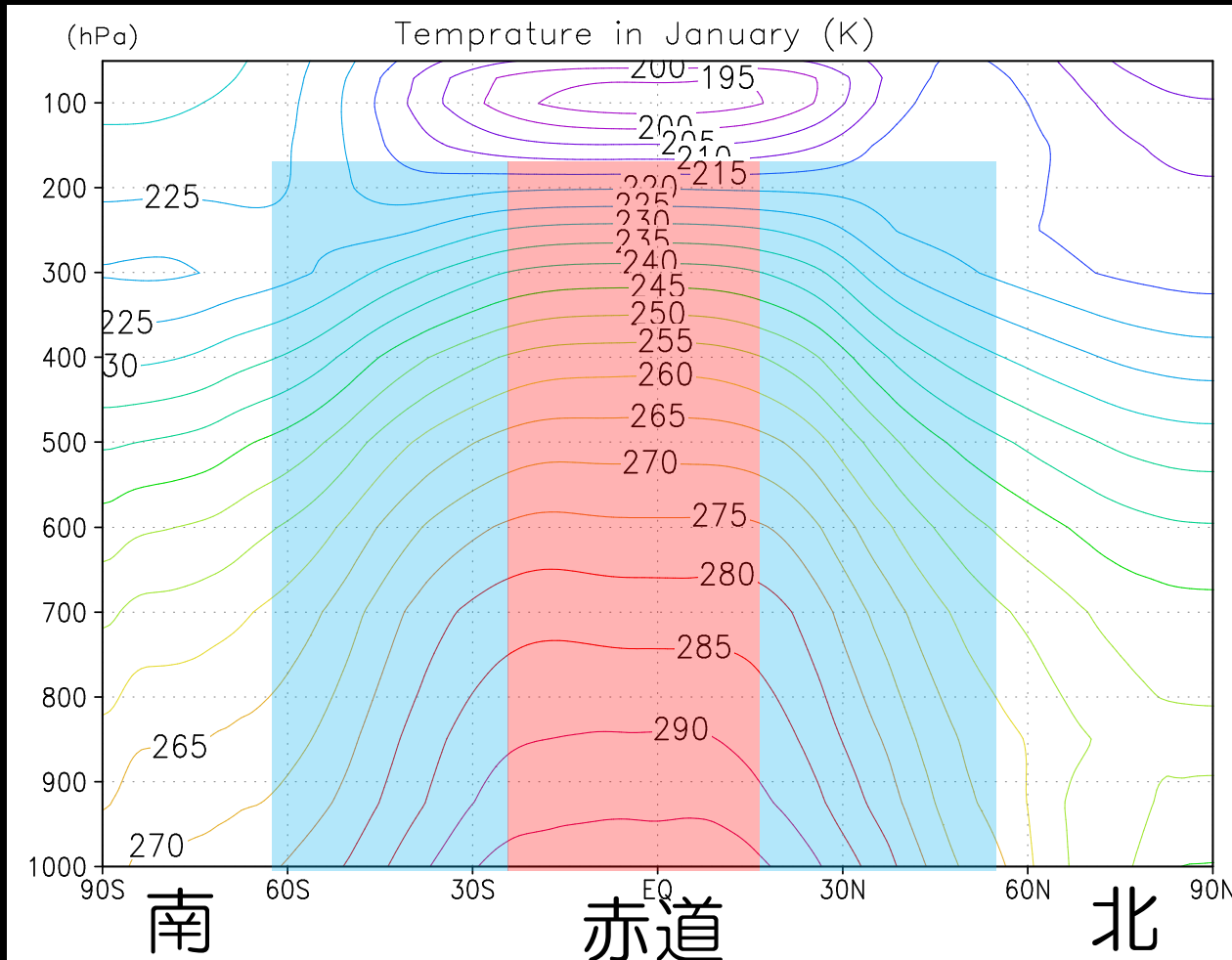
天気図では何に気がつきますか？

答え、 というわけではありませんが

- 中緯度は等圧線が込んでいるが、熱帯では込んでいない。
- 気圧のパターンの移動は、中緯度では西から東、熱帯でははっきりしない
- 熱帯では、風もあまり強くない

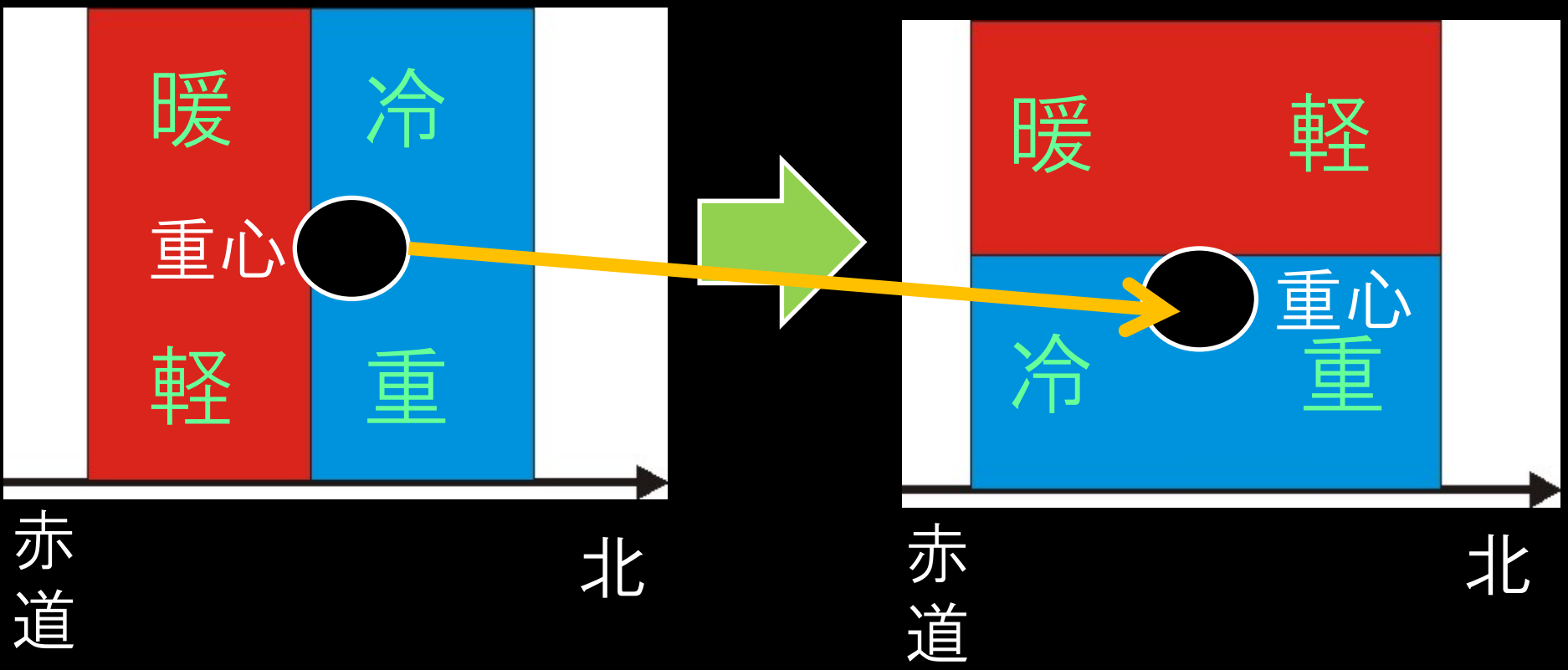
中緯度と熱帯では、何故この  
ような違いが生じるので  
しょうか？

# 温度を東西方向に平均



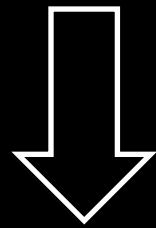
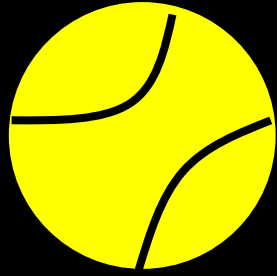
赤道付近と、中緯度の違いは？

# 冷たい空気と暖かい空気が近いと？



重心は下がろうとします。

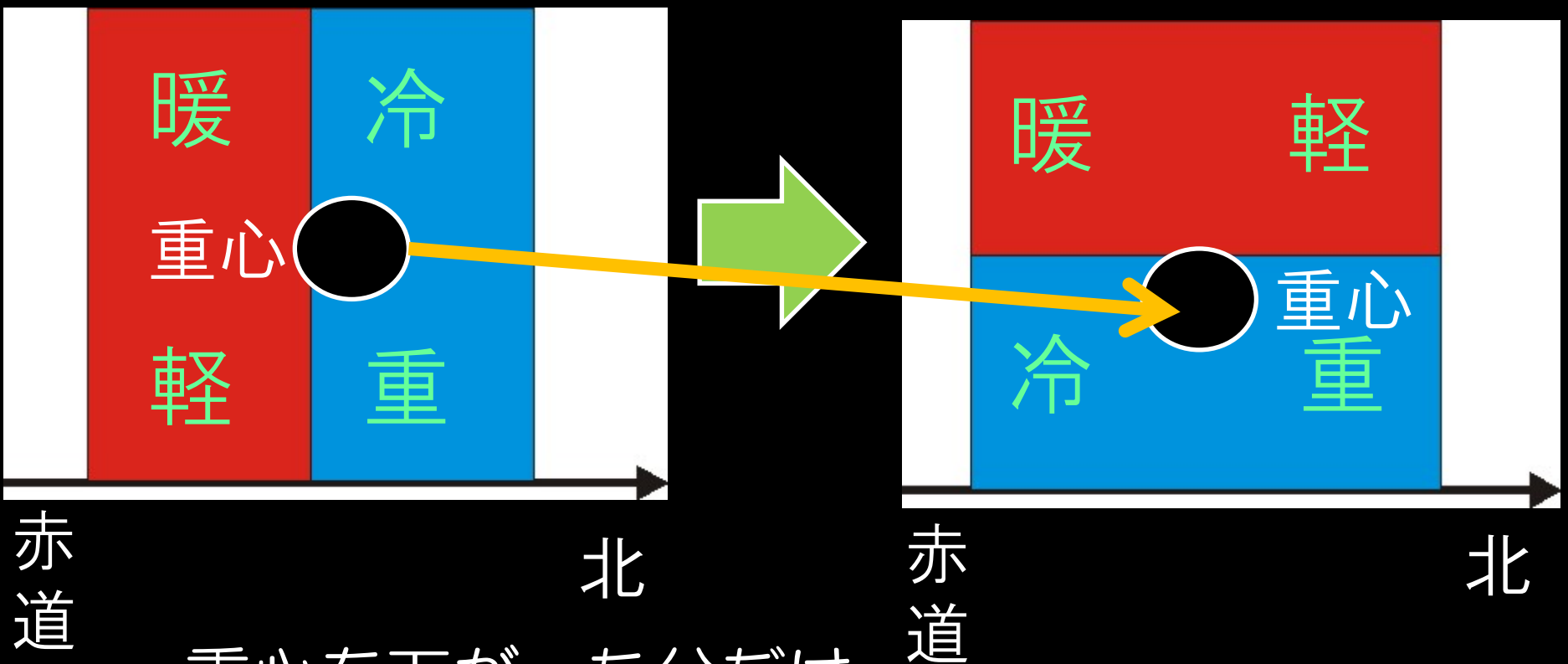
上にあったものが落ちると？



速度が上がる

「位置エネルギーが運動エネルギーに変換された」という言い方をします

# 冷たい空気と暖かい空気が近いと？



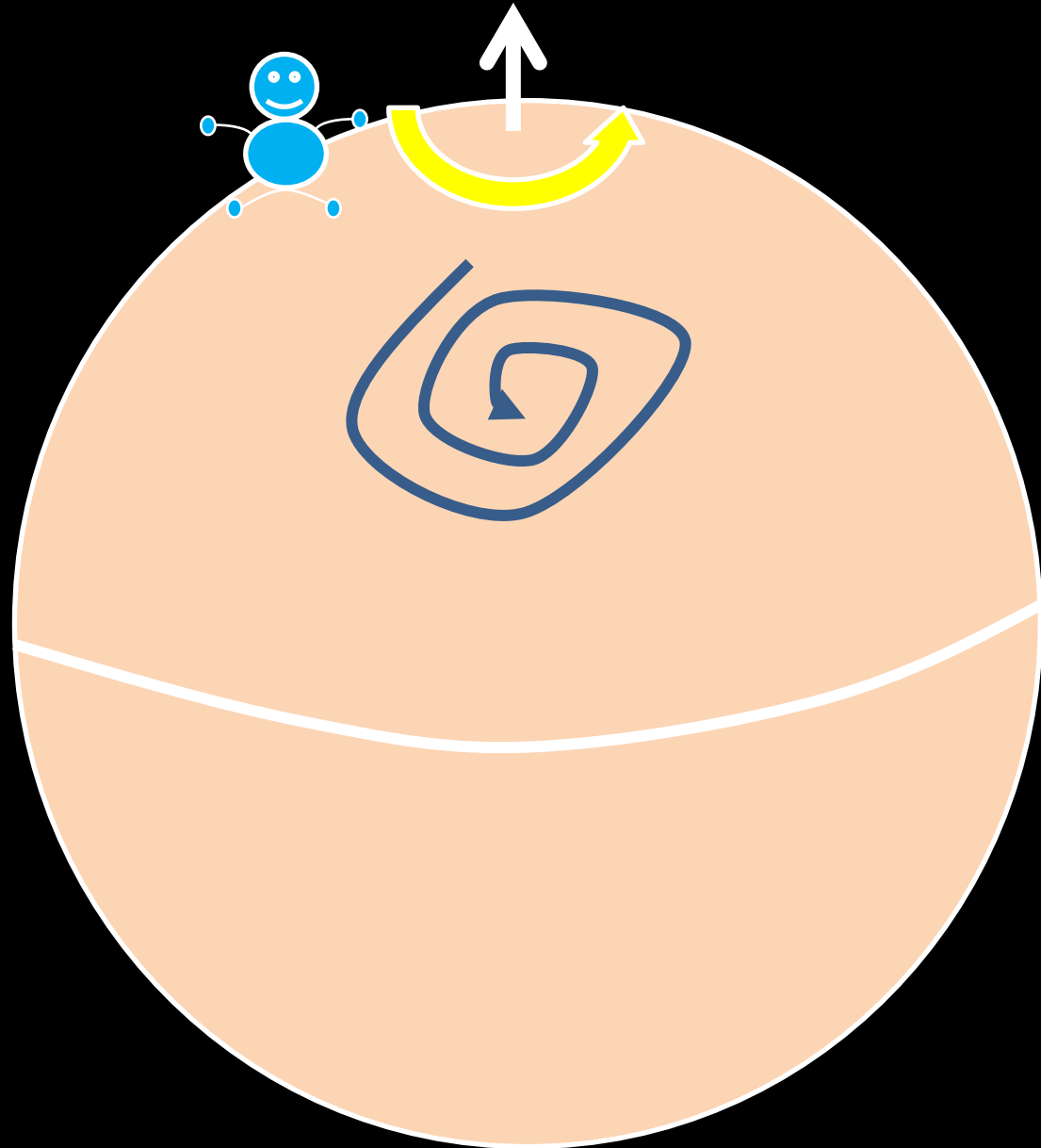
重心を下がった分だけ

運動が生じます



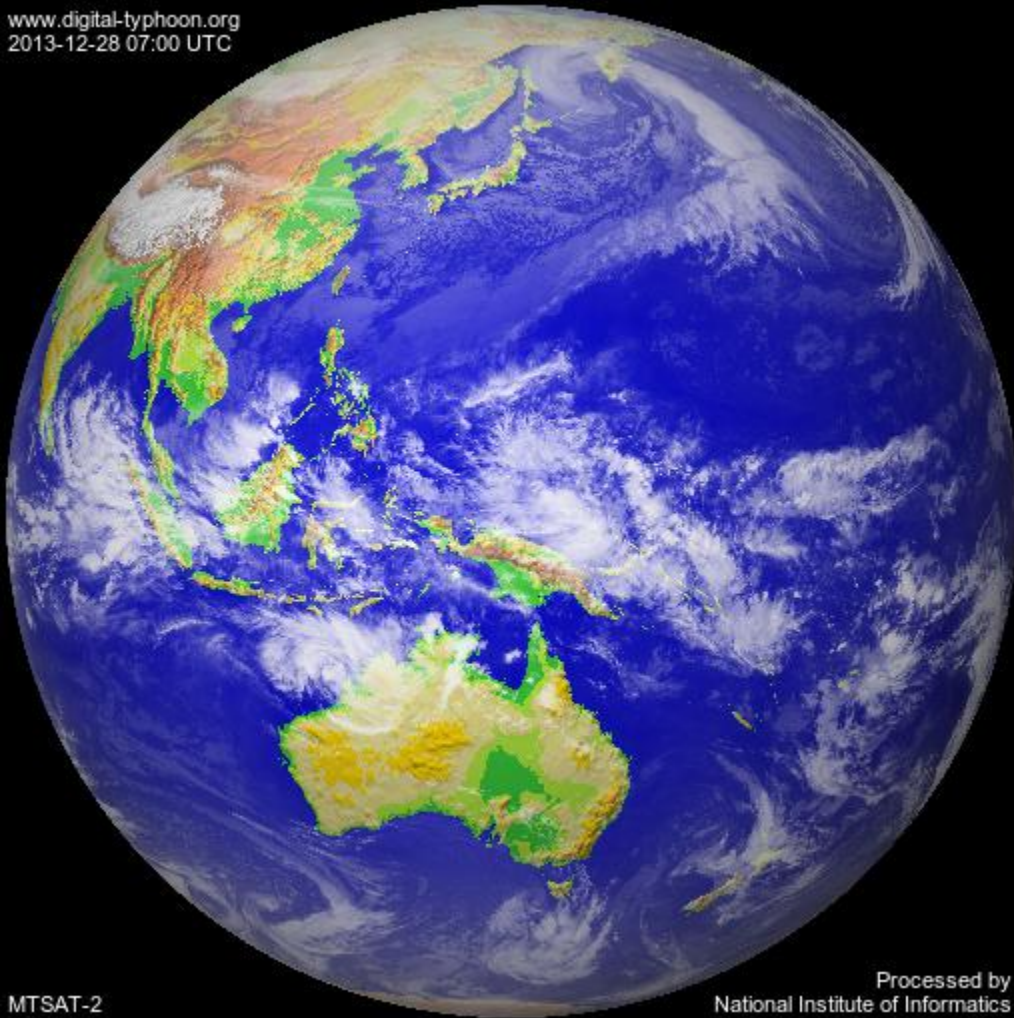
# 地球の回転の影響

中緯度では、  
地球の回転を  
感じて  
渦を巻きやすい



# 結果として

www.digital-typhoon.org  
2013-12-28 07:00 UTC



中緯度では

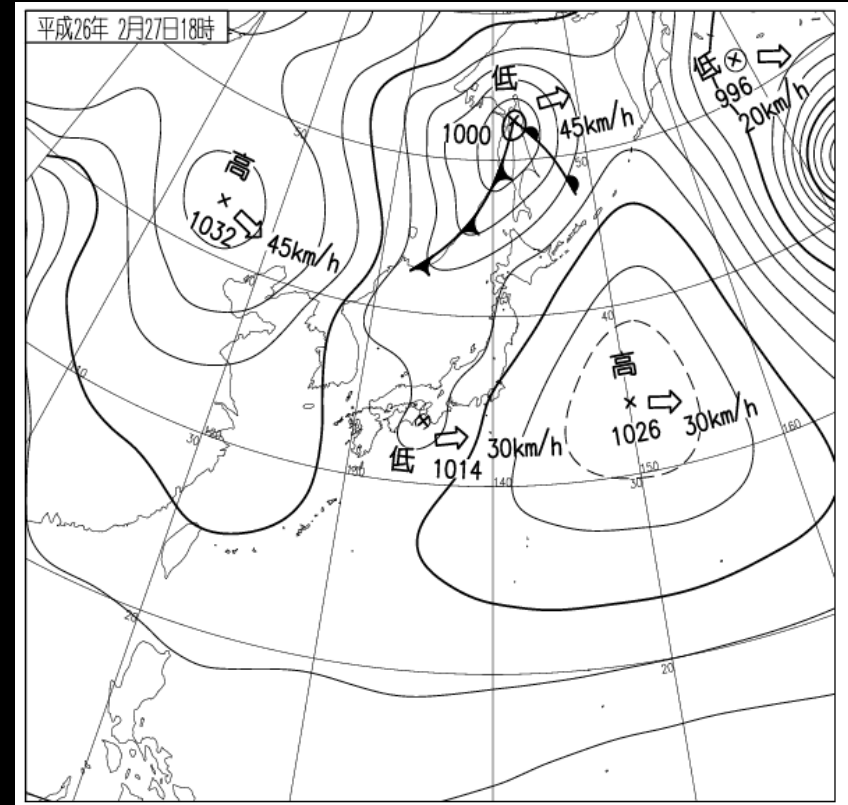
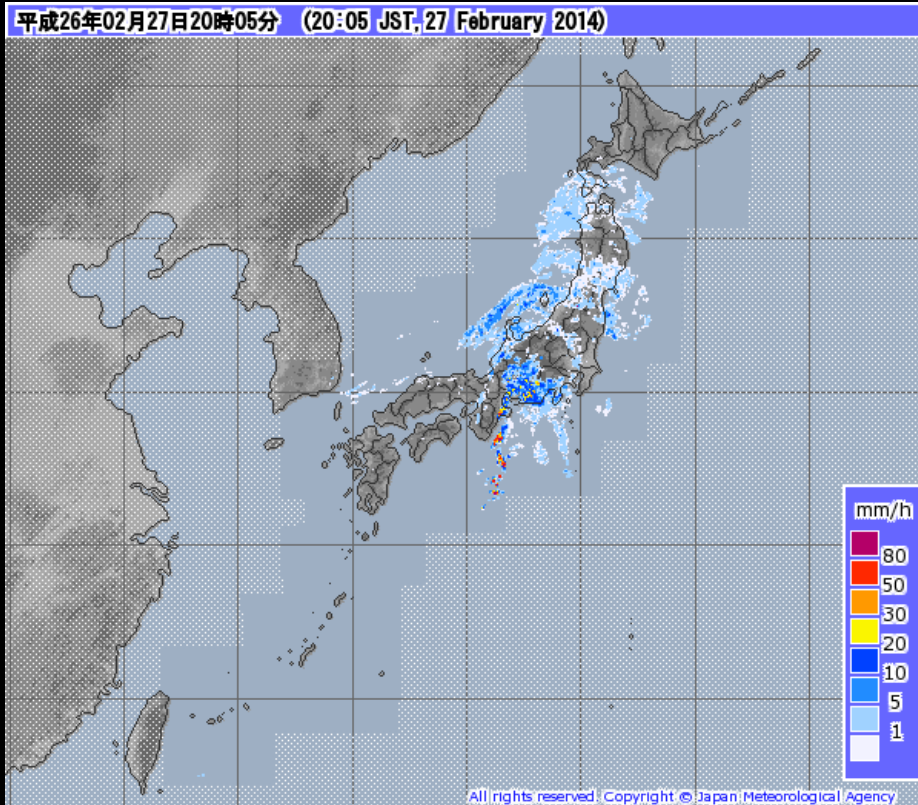
**(温帯) 低気圧**

と呼ばれる1000km  
程度の渦状のパター  
ンが発達します

MTSAT-2

Processed by  
National Institute of Informatics

# では、問題です



水が存在しない仮想的な地球において、(温帯)  
低気圧は、存在することが出来るでしょうか？

# 地球の回転の影響（低緯度）

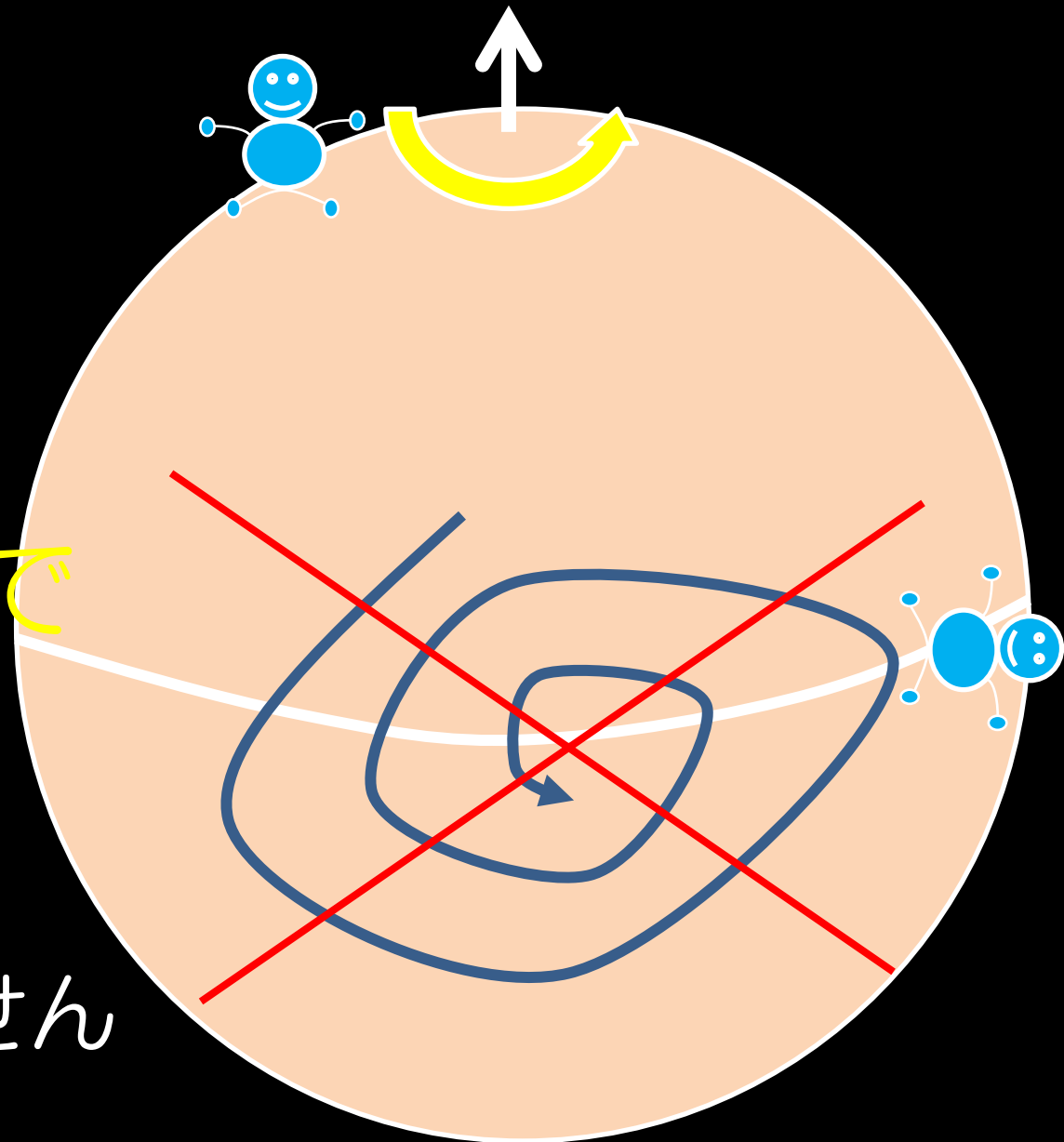
赤道近くでは、

地球の回転を

感じにくいので

低気圧や台風は

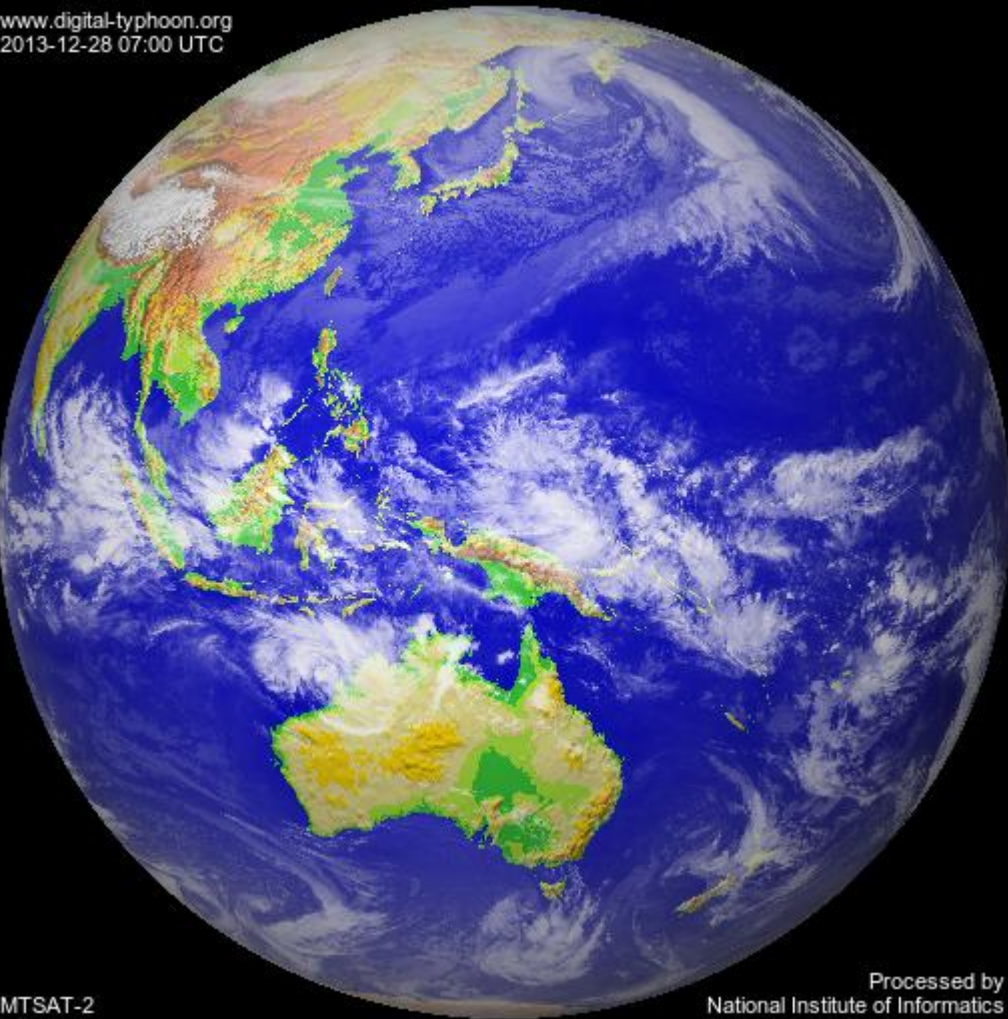
強く発達できません





# 熱帯でも雲はできているよ

www.digital-typhoon.org  
2013-12-28 07:00 UTC



これらの雲は、  
どうやって出来てい  
るのでしょうか？

MTSAT-2

Processed by  
National Institute of Informatics



熱帯には

(温帯) 低気圧はありませんが、

**赤道波**とよばれるものがあります。



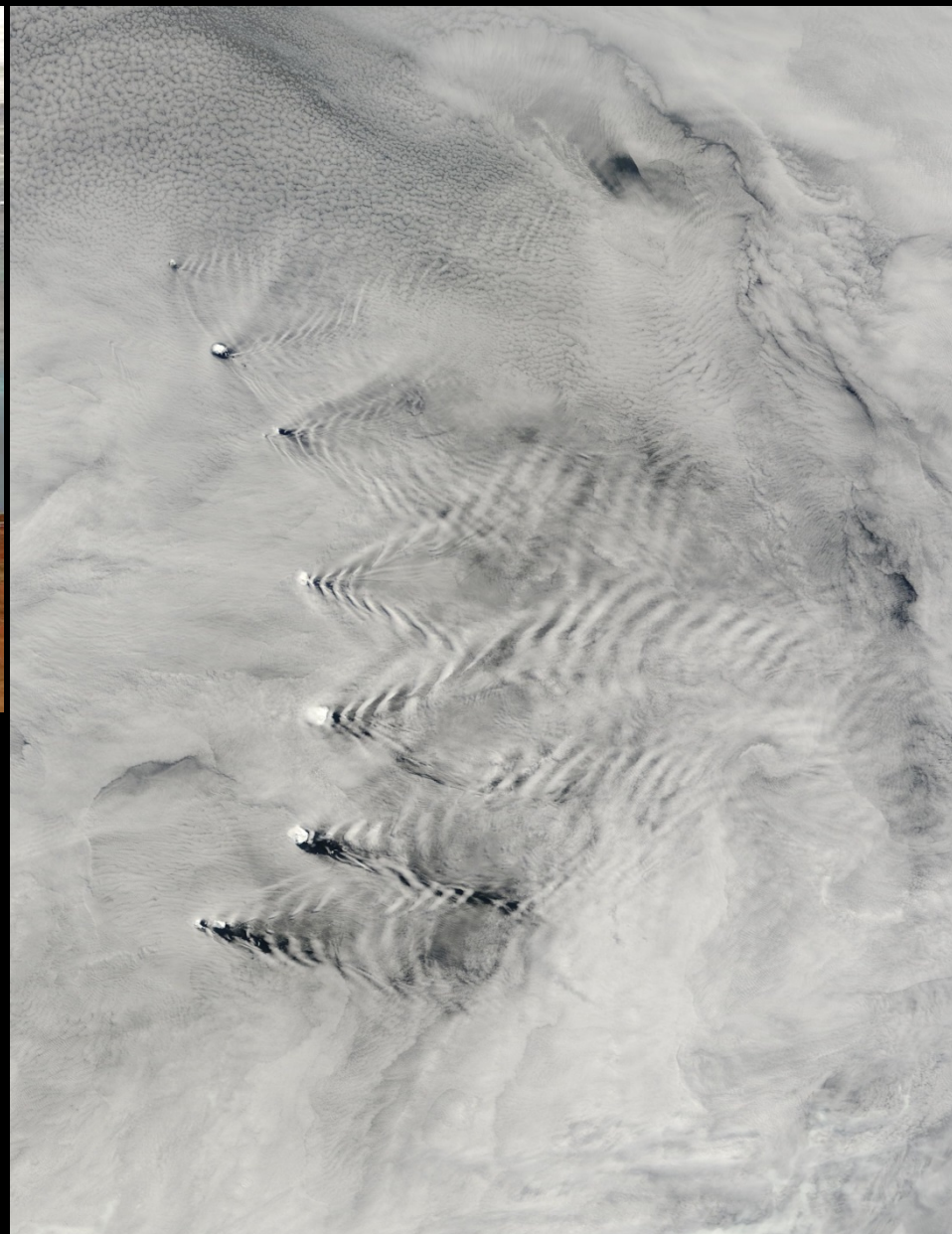
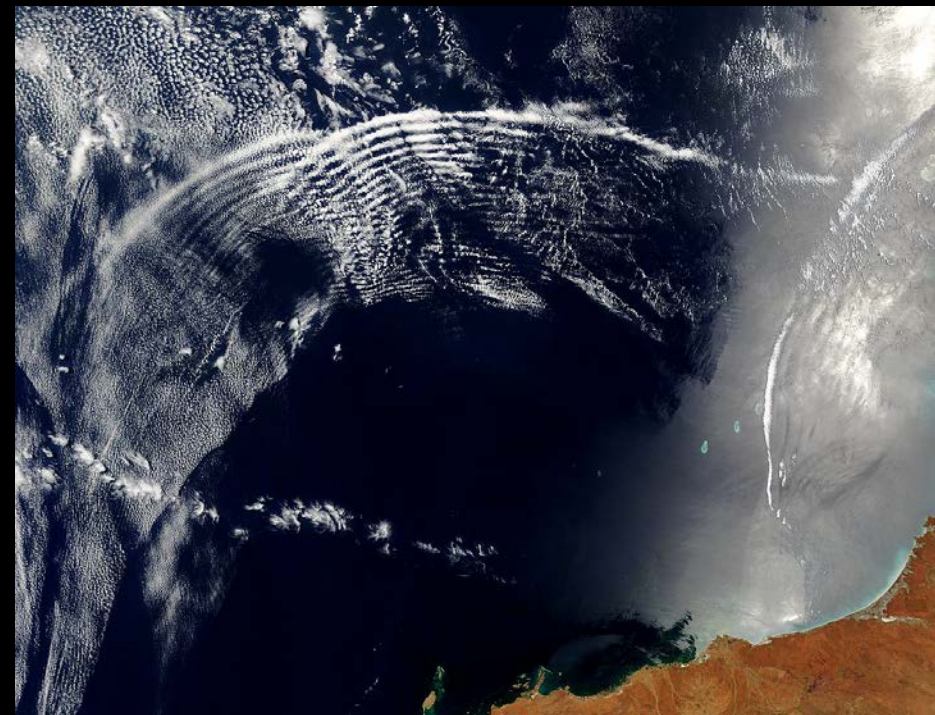
# 波って海のものじゃないの？



ウィキペディア、葛飾北斎から引用  
(<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%91%9B%E9%A3%BE%E5%8C%97%E6%96%8E>)



# 大気にも波があります



たまたまに雲として

可視化されます

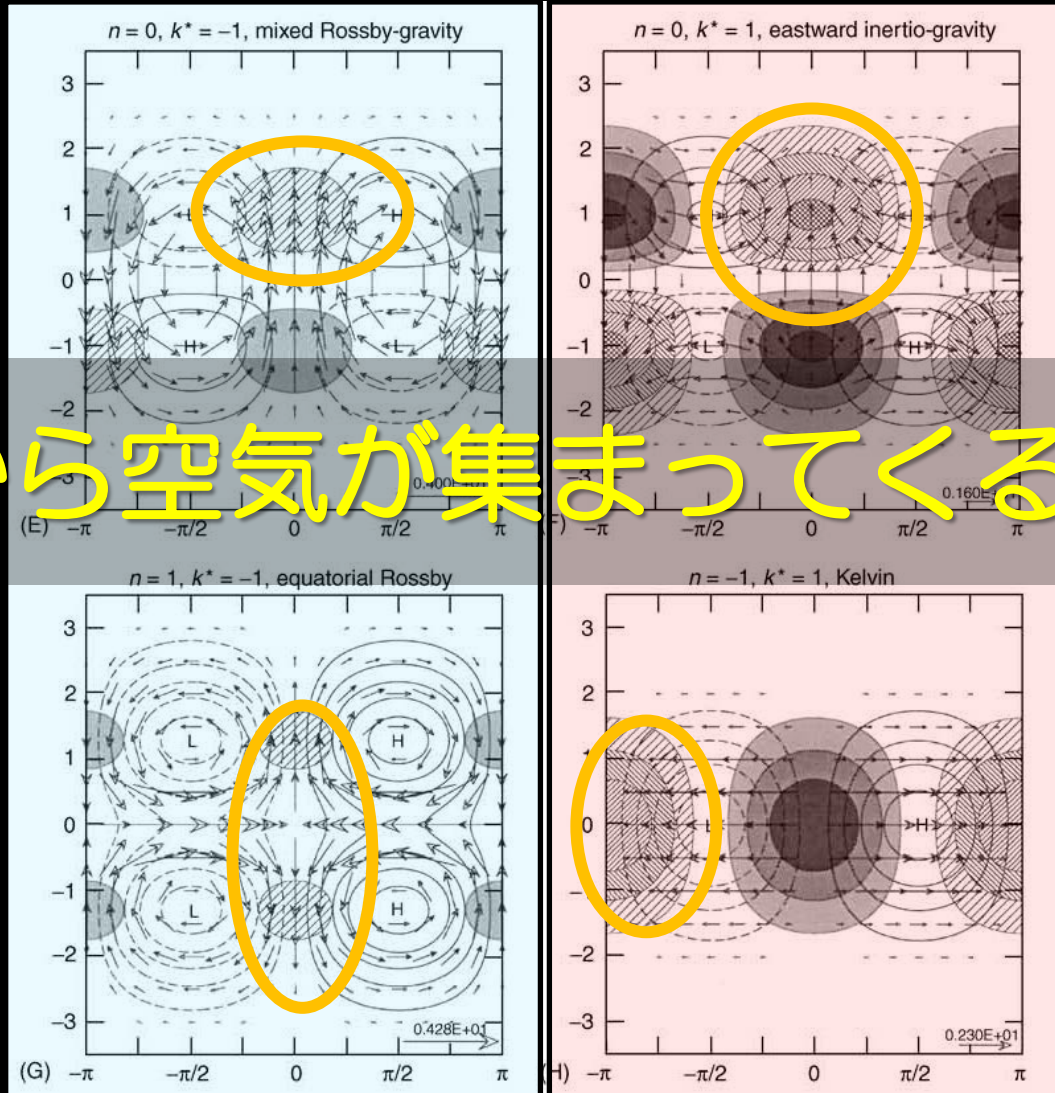
NASAのウェブサイトより引用  
(<http://earthobservatory.nasa.gov/>)

# 赤道波の理論による波の構造

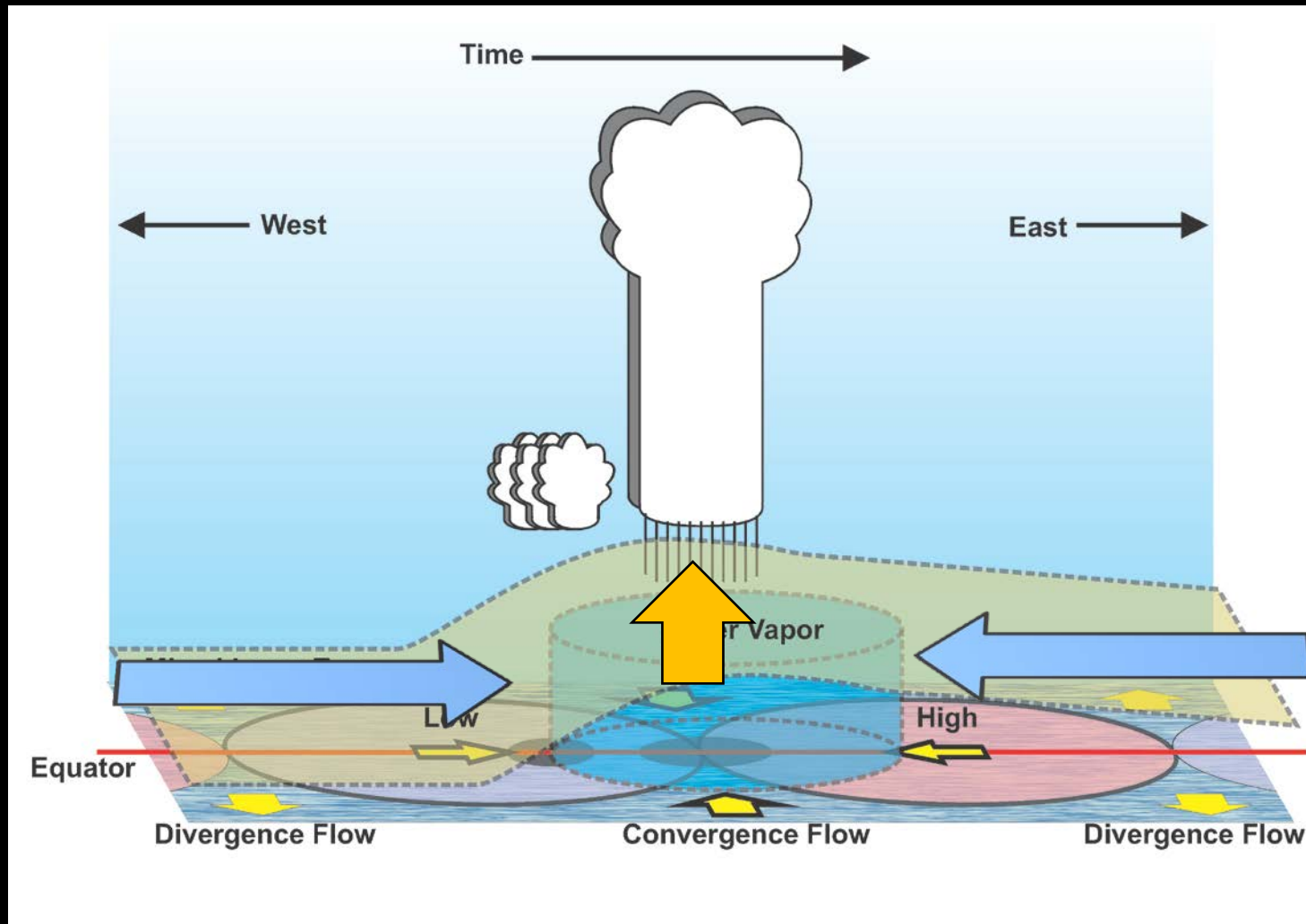
西向き

東向き

周囲から空気が集まってくるところ



# 空気が集まってくると

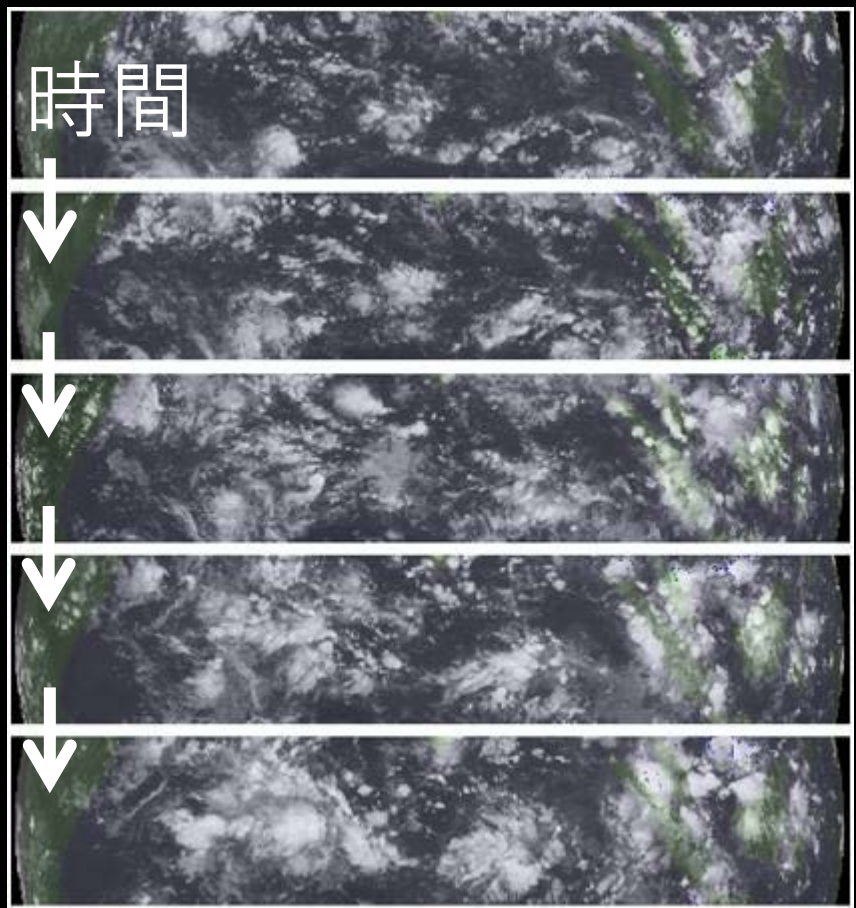


# 雲ができます

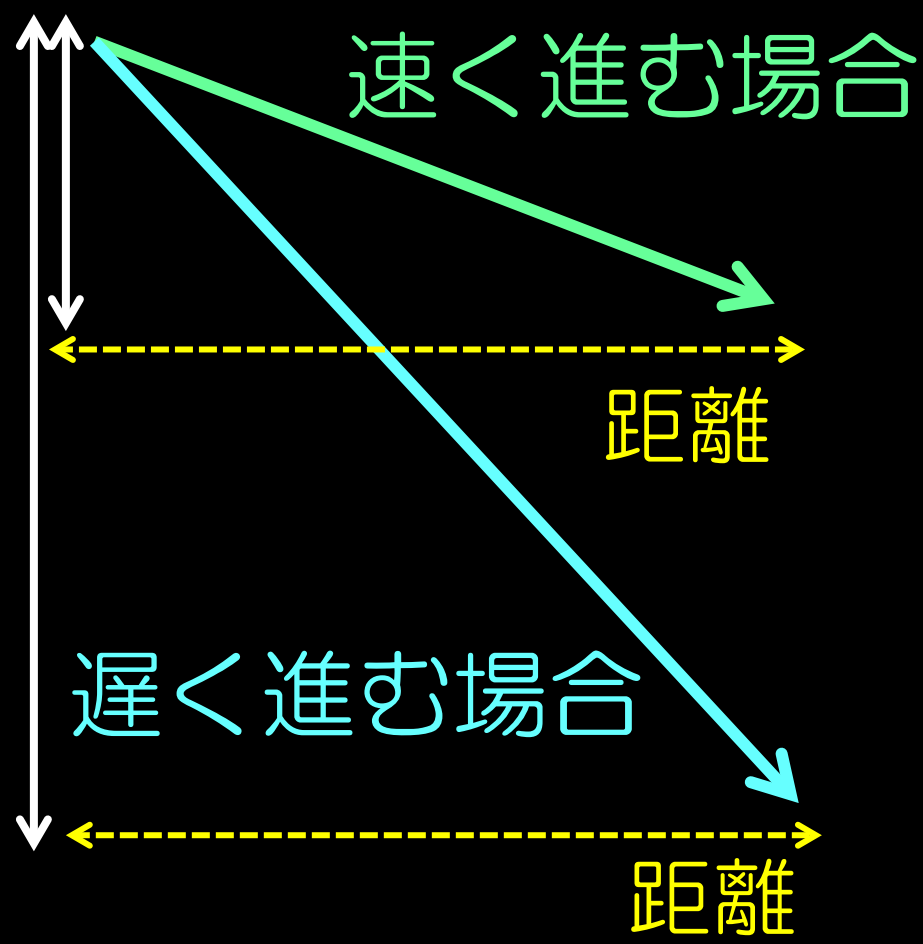
少し専門的ですが



# 速く進む雲、遅く進む雲



かかった時間



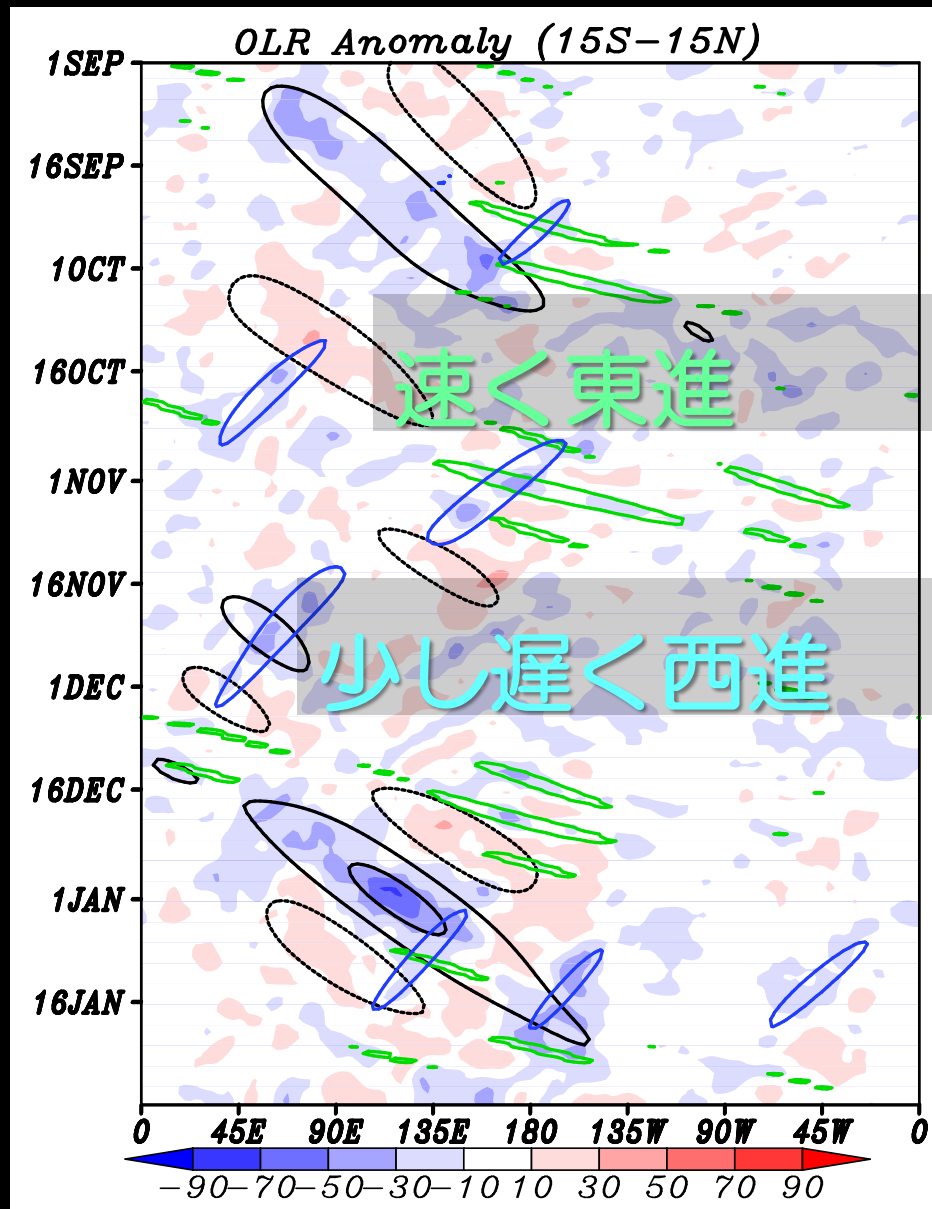
# 熱帯の雲の移動を注意深く眺めると

時間 ↓

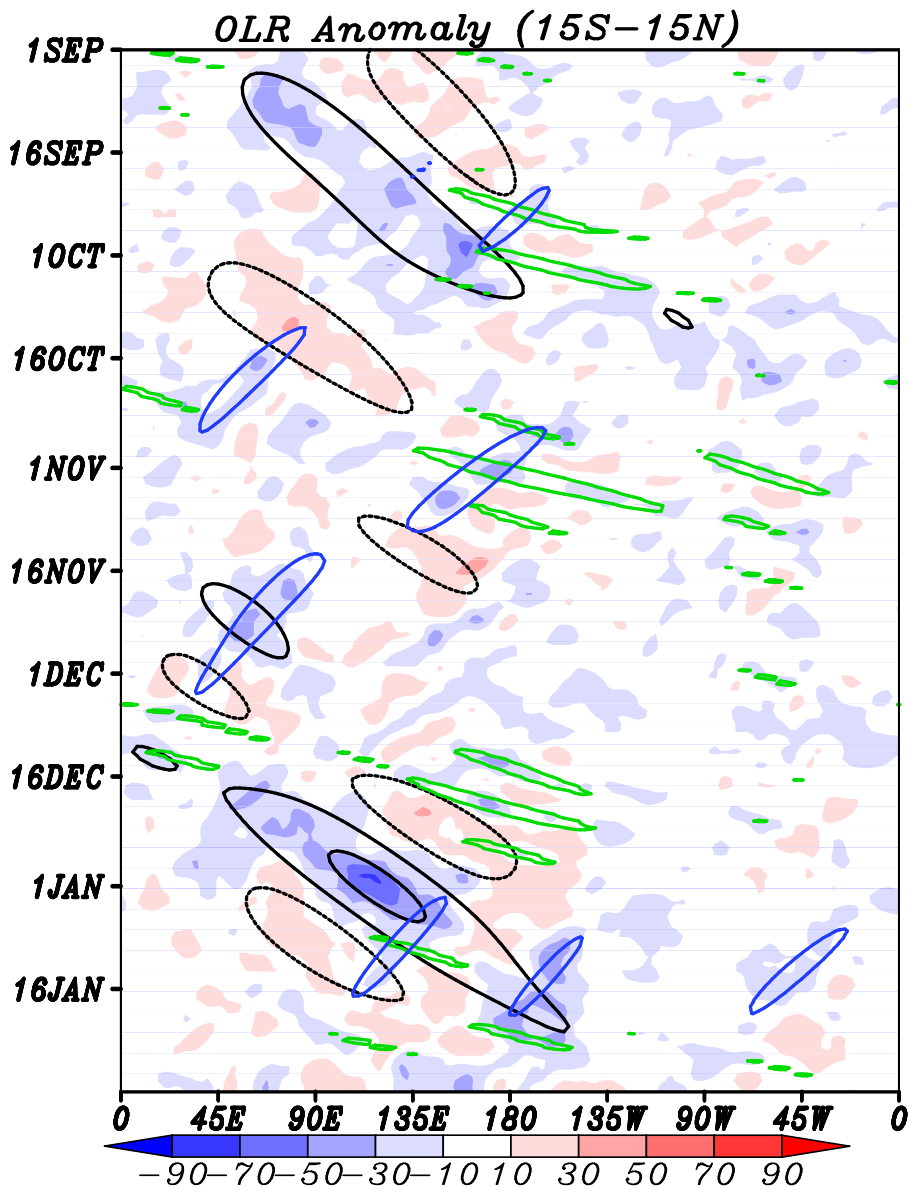
青いところを雲  
とってください

速く進む場合

遅く進む



# 風では説明出来ません（赤道波）



速くて東進＝

赤道ケルビン波

遅くて西進＝

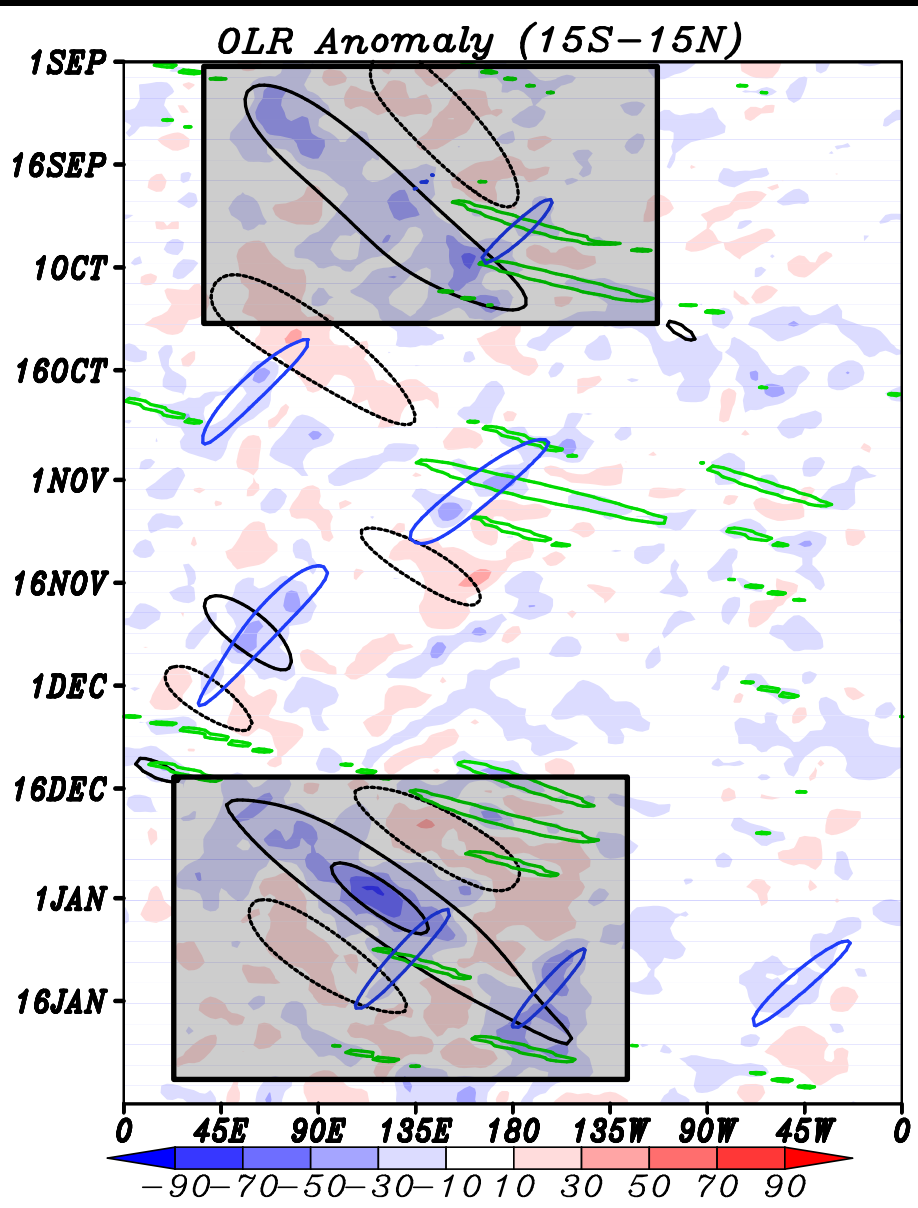
赤道ロスビー波

他にも、

西進慣性重力波

混合ロスビー重力波 等

# 一番大きな塊は何でしょうか？



遅い東進

= MJO

熱帯のお天気は、この

MJOによって大きく  
影響を受けます。



いよいよ今日の主役の

MJO

です。

MJO(エム・ジェー・オー)は何の略？

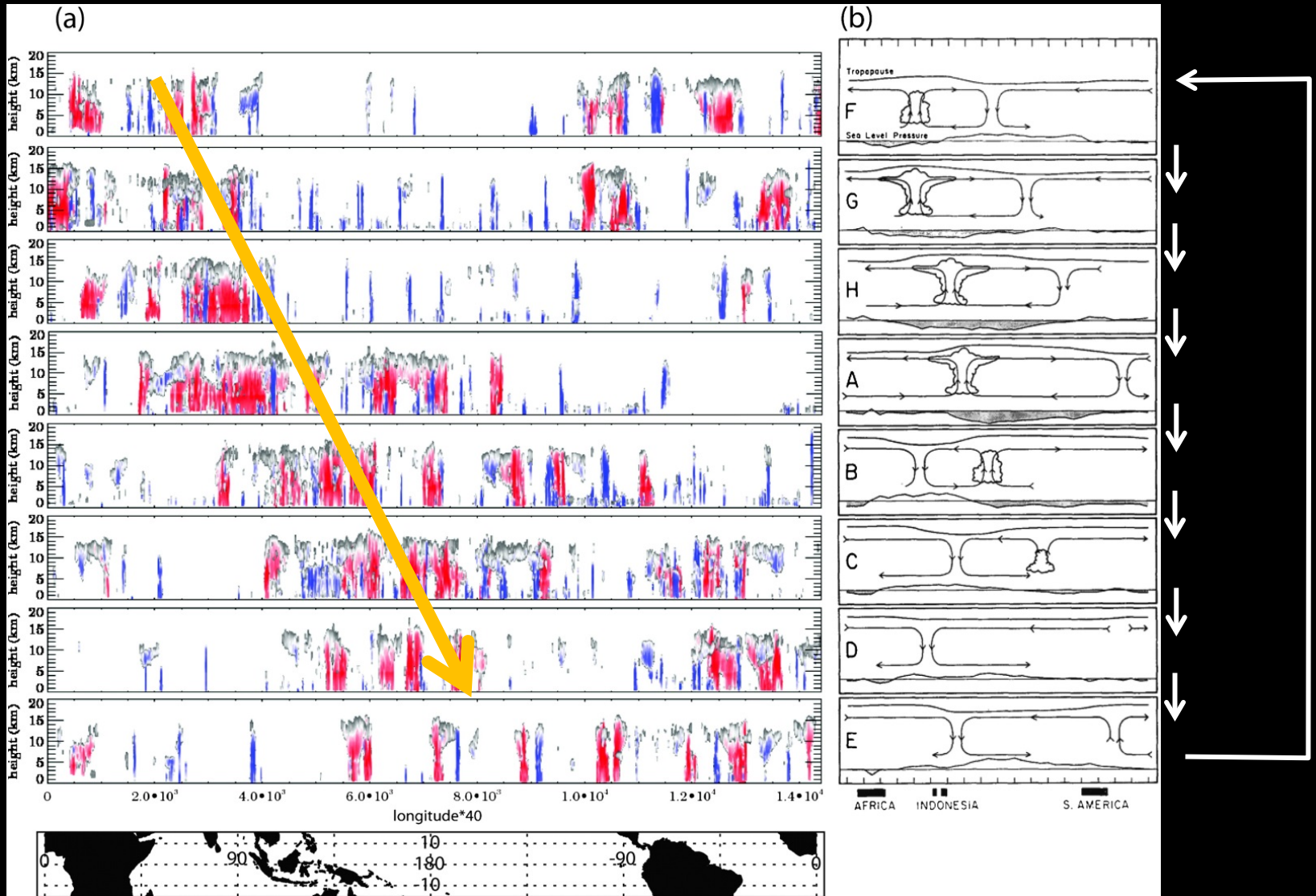
M: Madden (マッデン)

J: Julian (ジュリアン)

O: Oscillation (振動)

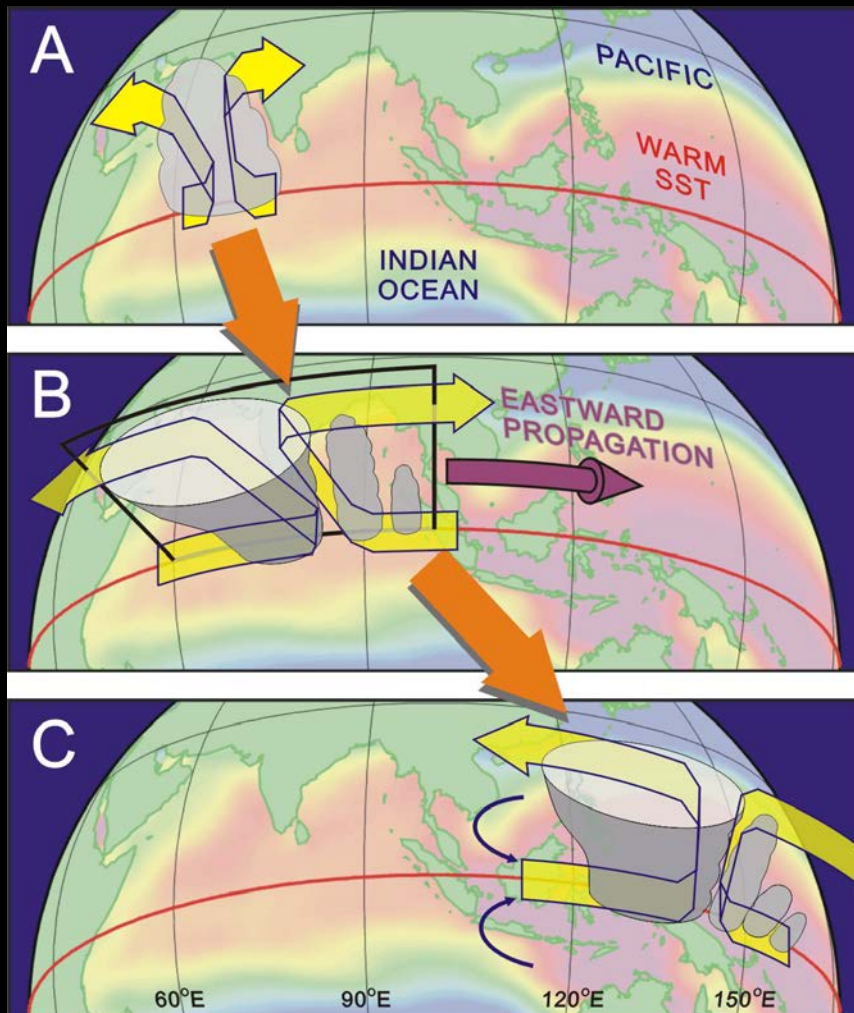
人の名前です。

# MJOはどんな現象？



Riley, Emily M., Brian E. Mapes, Stefan N. Tulich, 2011: Clouds Associated with the Madden-Julian Oscillation: A New Perspective from CloudSat. *J. Atmos. Sci.*, **68**, 3032–3051

# MJOの特徴を言葉でまとめると

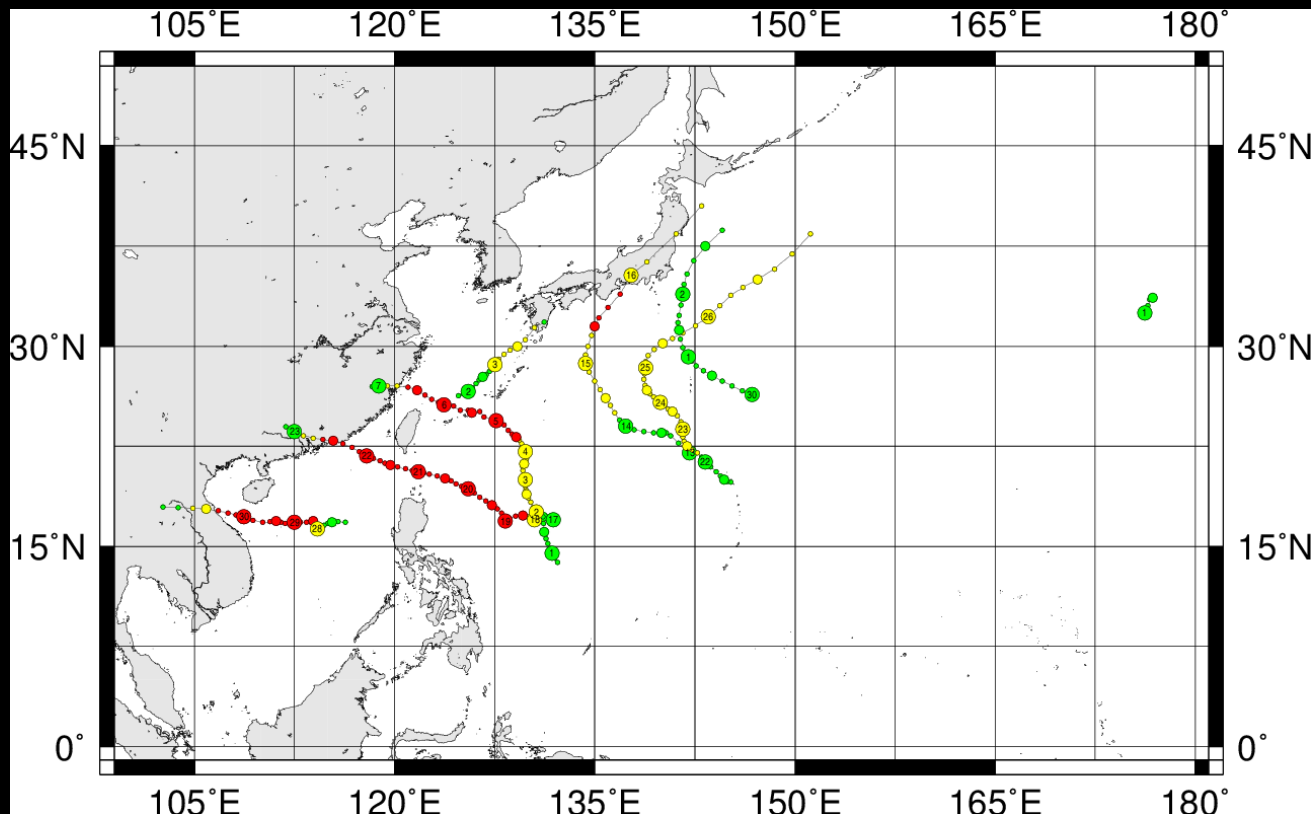


1. 熱帯で最も卓越する現象の一つ
2. 主にインド洋で発生する数千kmの東進する雲群（約5m/s）
3. 周期はおおよそ30—60日

# MJOの重要性 (1)

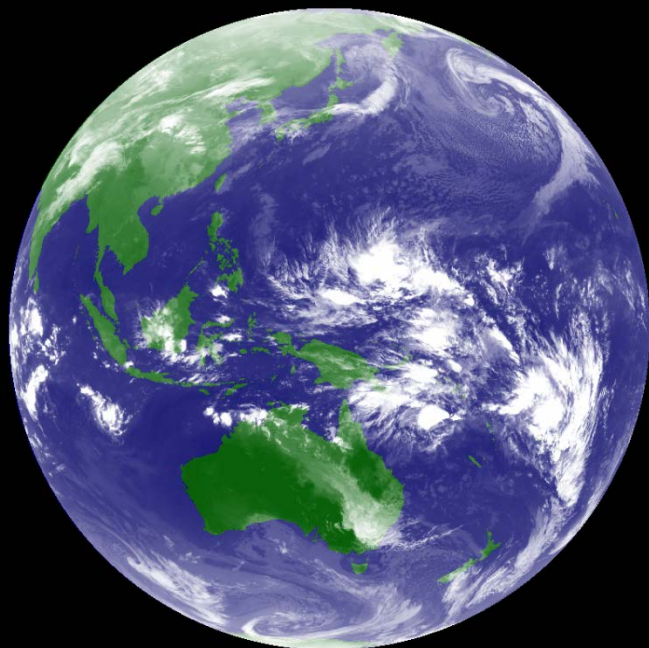
2013年9月のMJOの活発期に

何があったのでしょうか？[動画をどうぞ？](#)

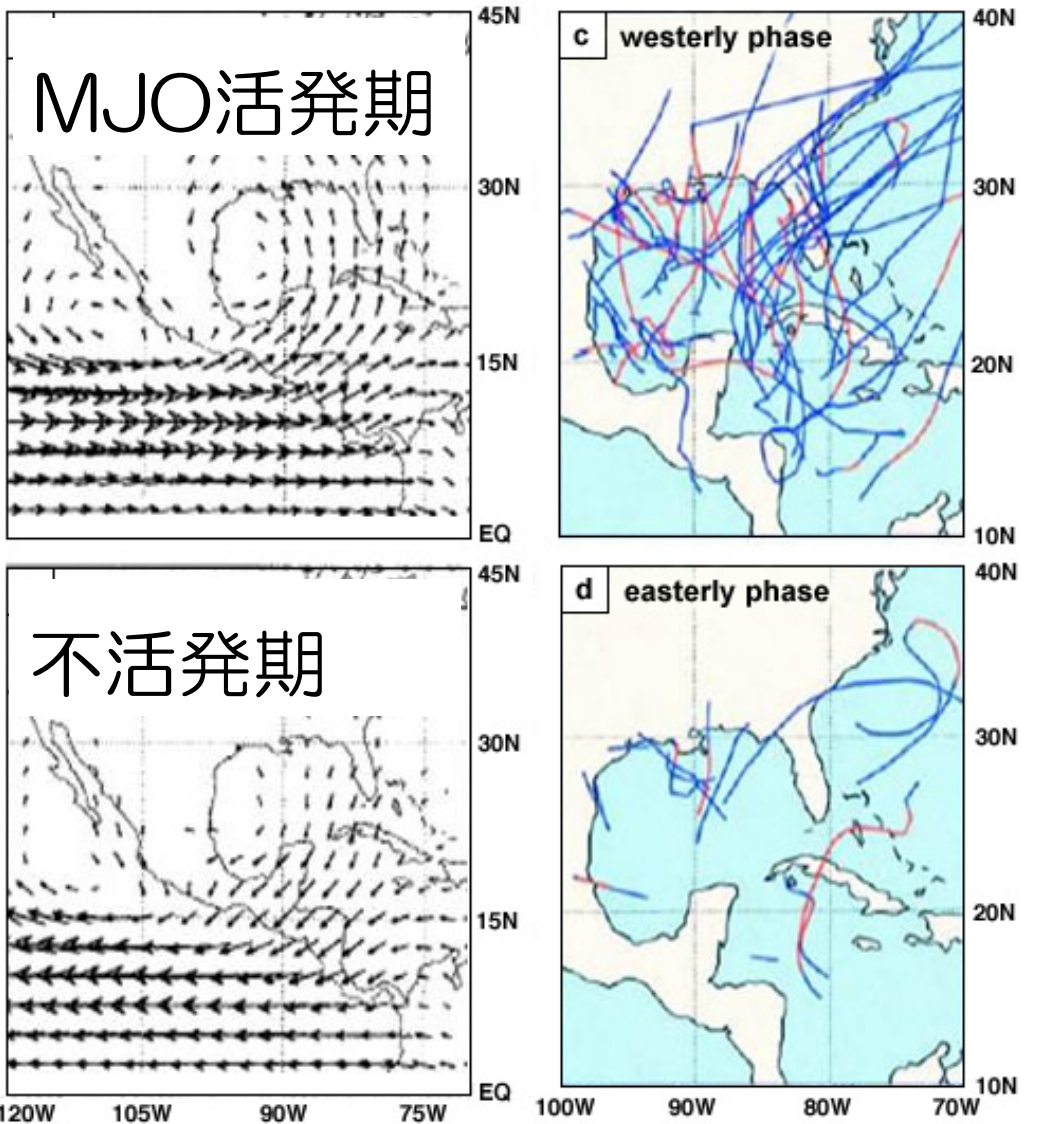




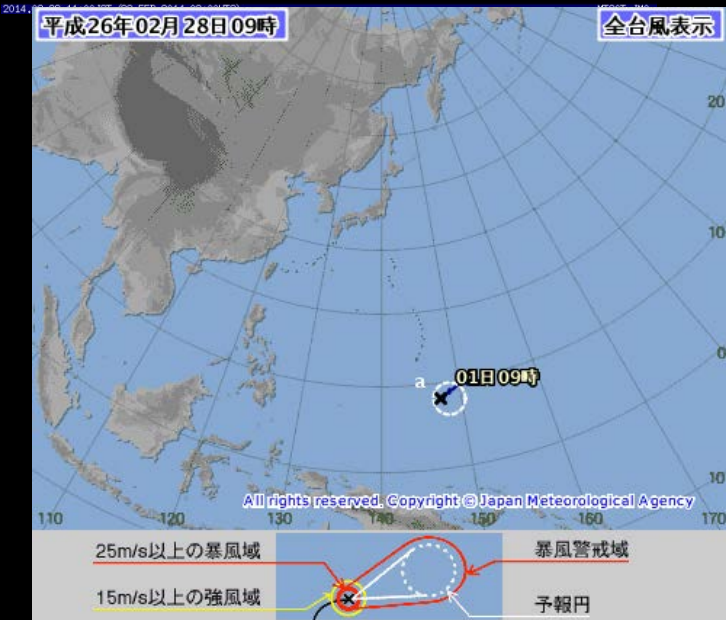
# MJOと台風



MJO phase (by 850 hPa Wind Anomalies) and Tropical Cyclone Tracks

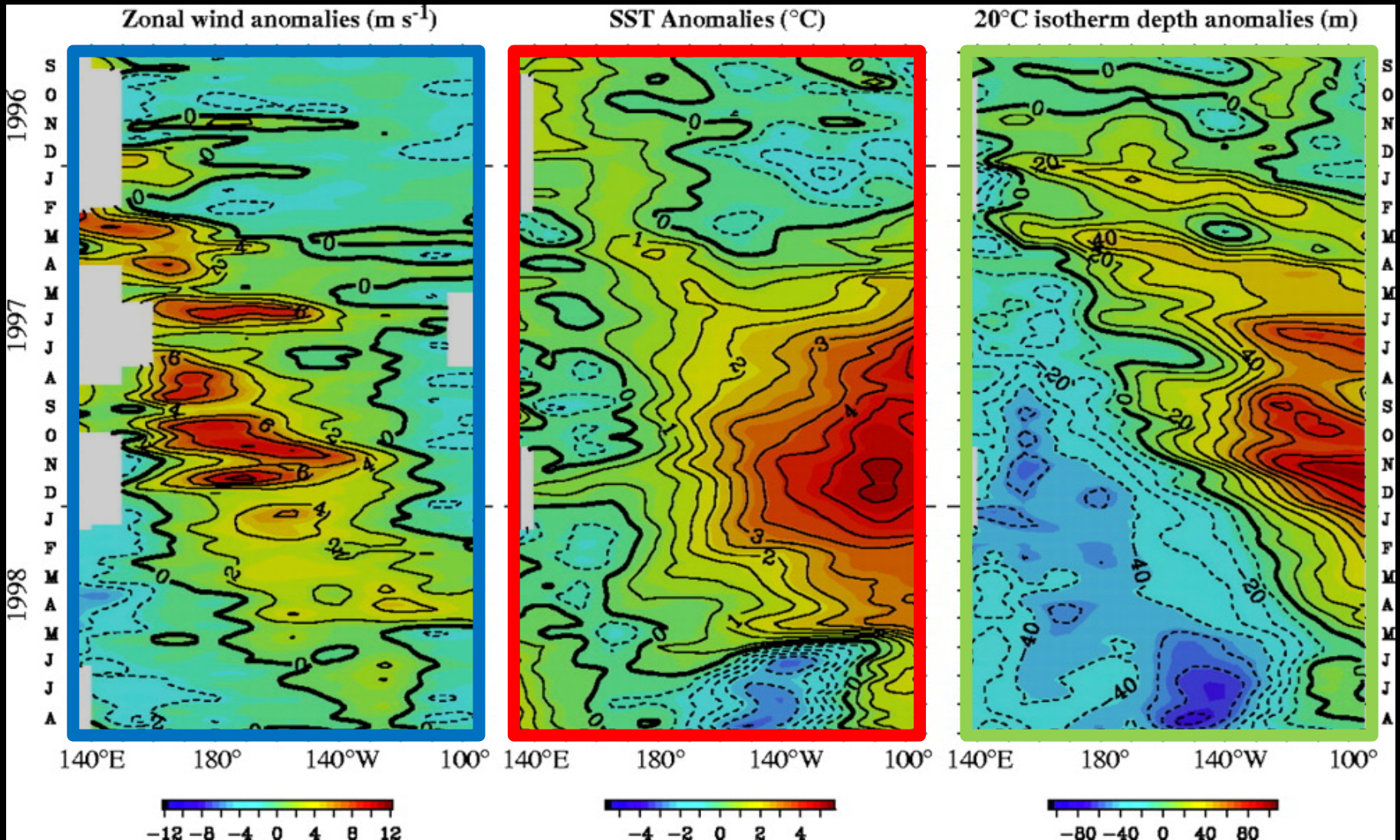


Maloney and Hartmann 2000





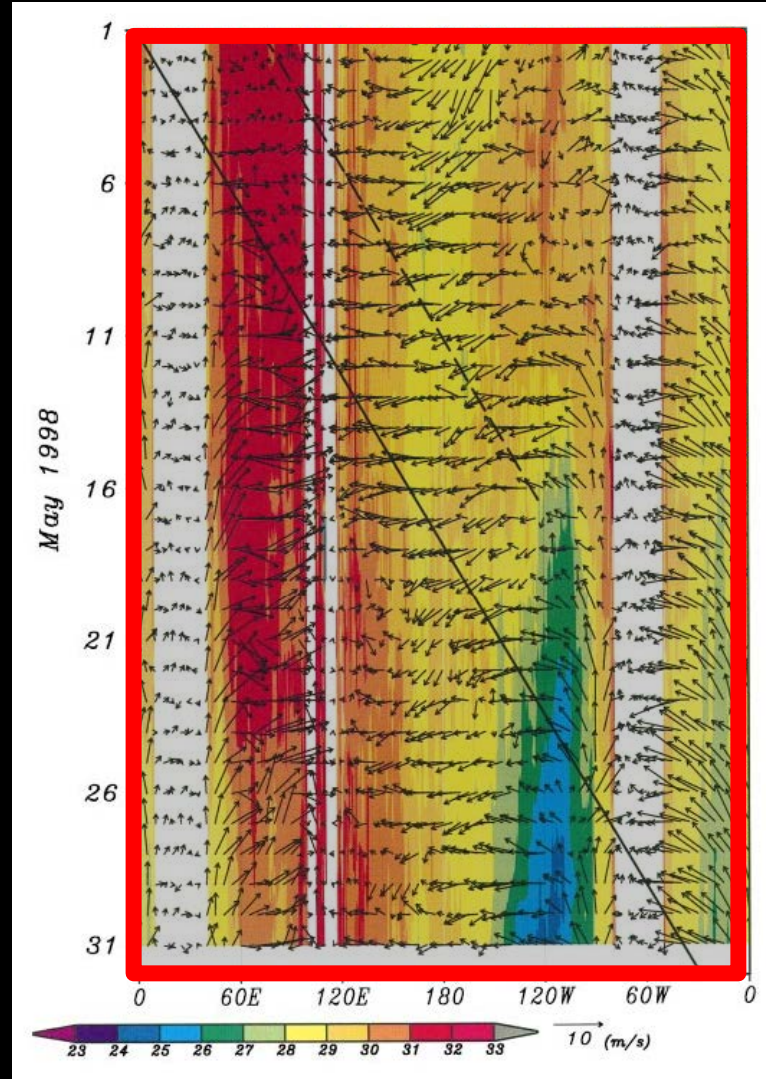
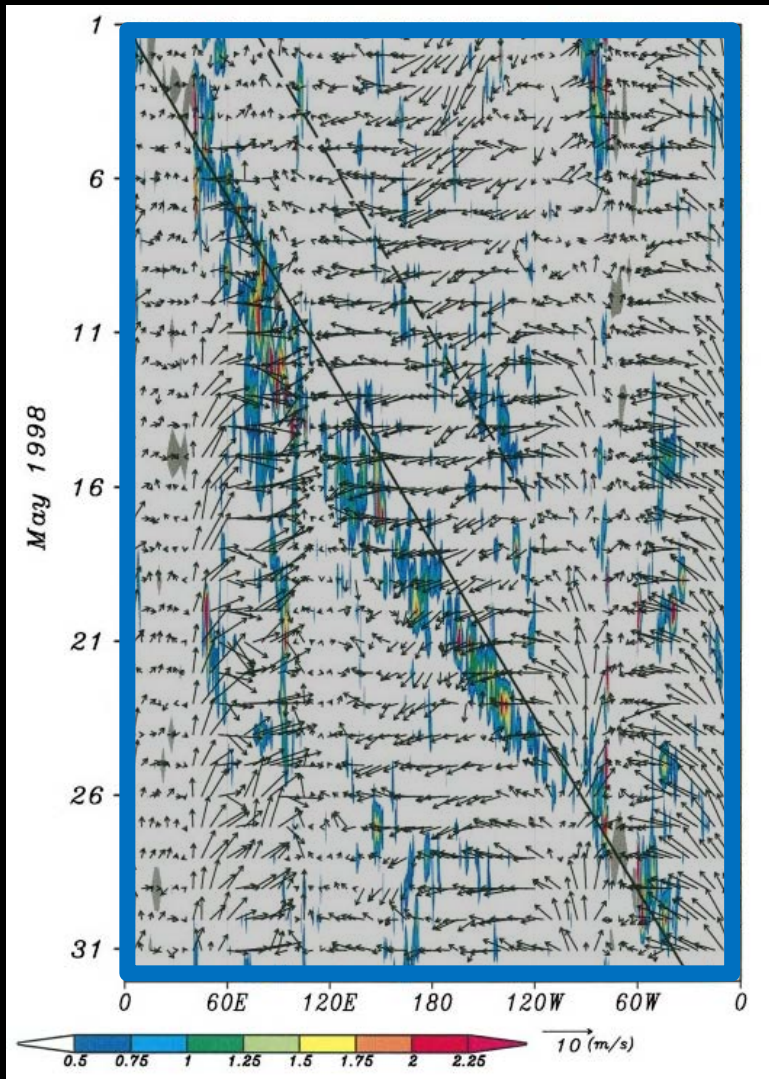
# MJOの重要性 (2)



McPhaden, M. J., 1999: Genesis and evolution of the 1997-98 El Niño. *Science*, 283, 950-954.



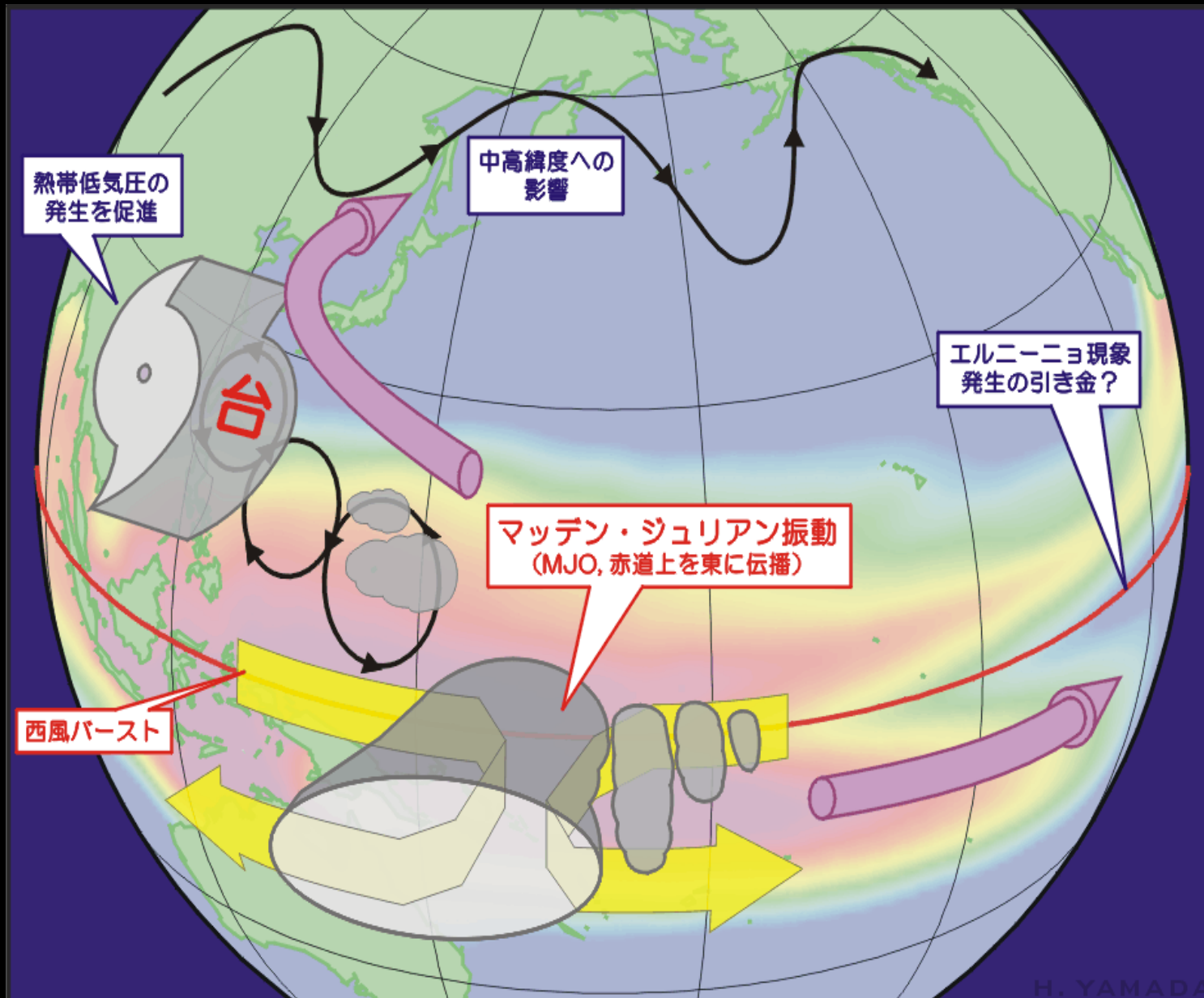
# MJOの重要性 (3)



Abrupt termination of the 1997–98 El Niño in response to a Madden–Julian oscillation  
Yukari N. Takayabu, Toshio Iguchi, Misako Kachi, Akira Shibata and Hiroshi Kanzawa,  
*Nature* 402, 279–282(18 November 1999) doi:10.1038/46254



# MJOと我々の暮らし



MJOには分からないこと  
がいっぱい

# MJOの謎

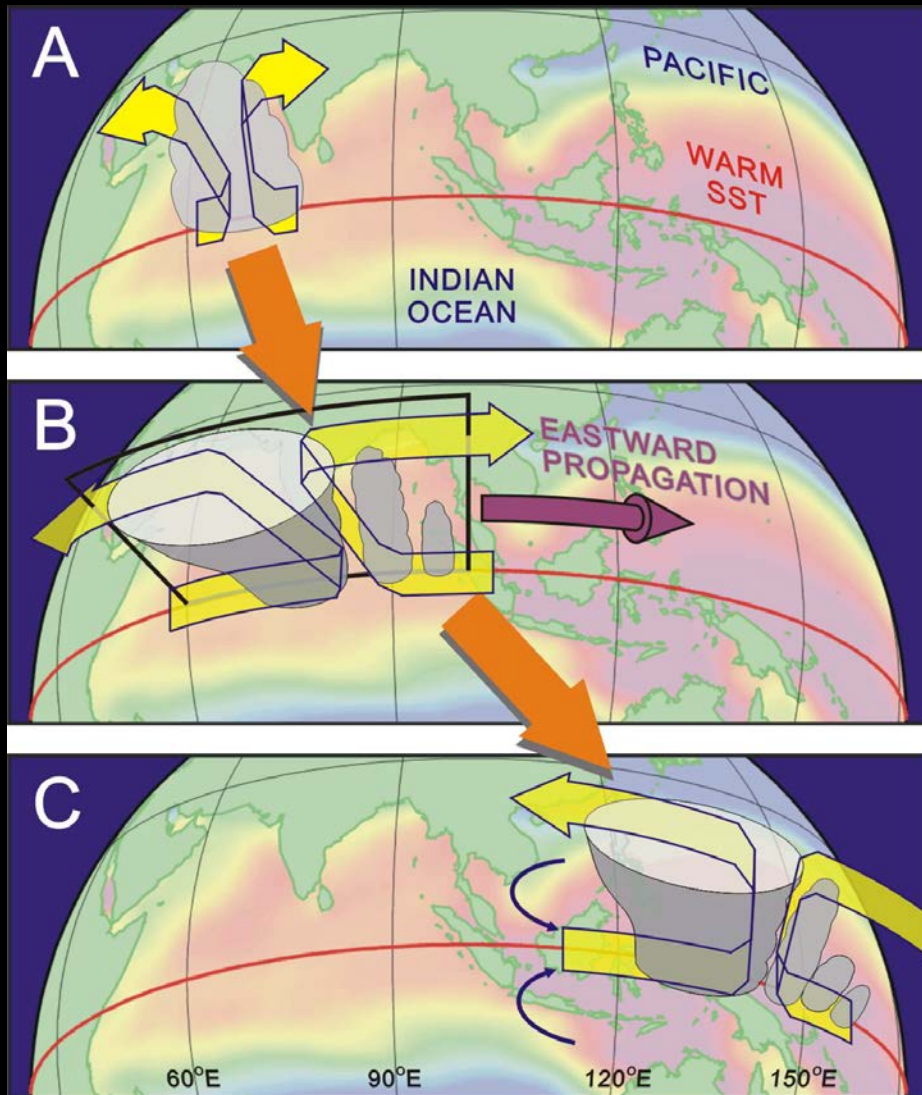
発見から40年

何故、このような大きな  
雲群に発達するのか？

何故、5m/sという遅い  
速度で東進するのか

未解明。

赤道波では、説明出来ないといわれている。

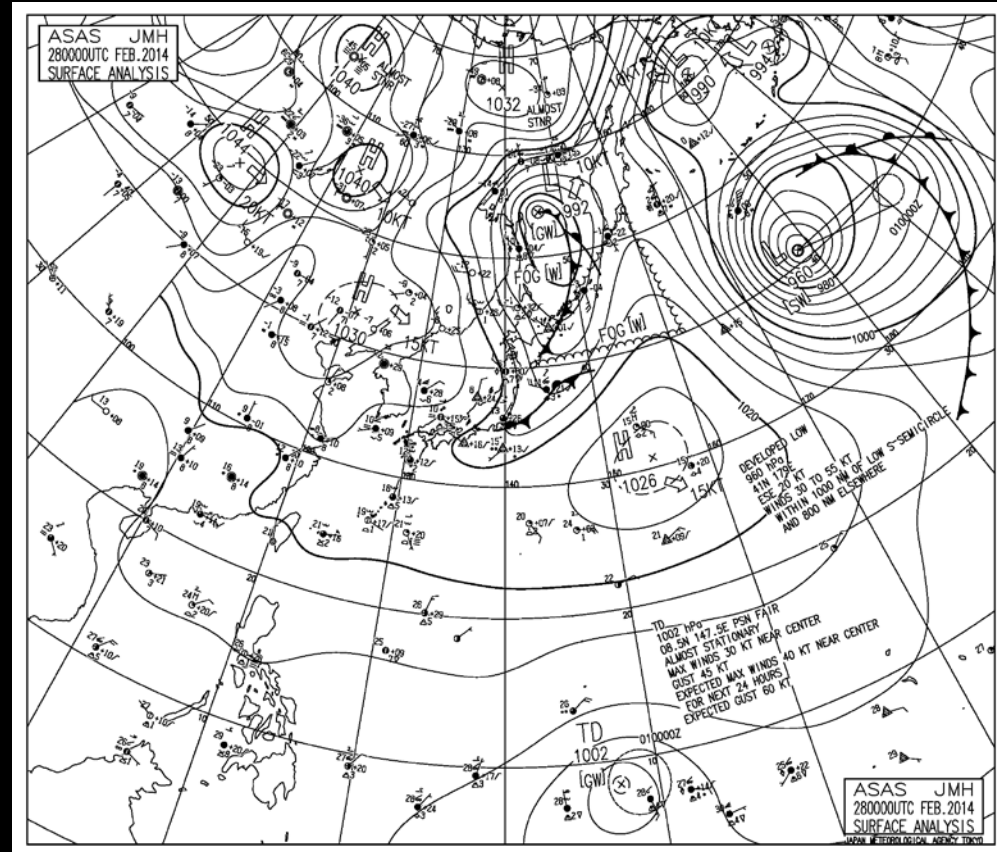


# 何故、40年間も未解決？

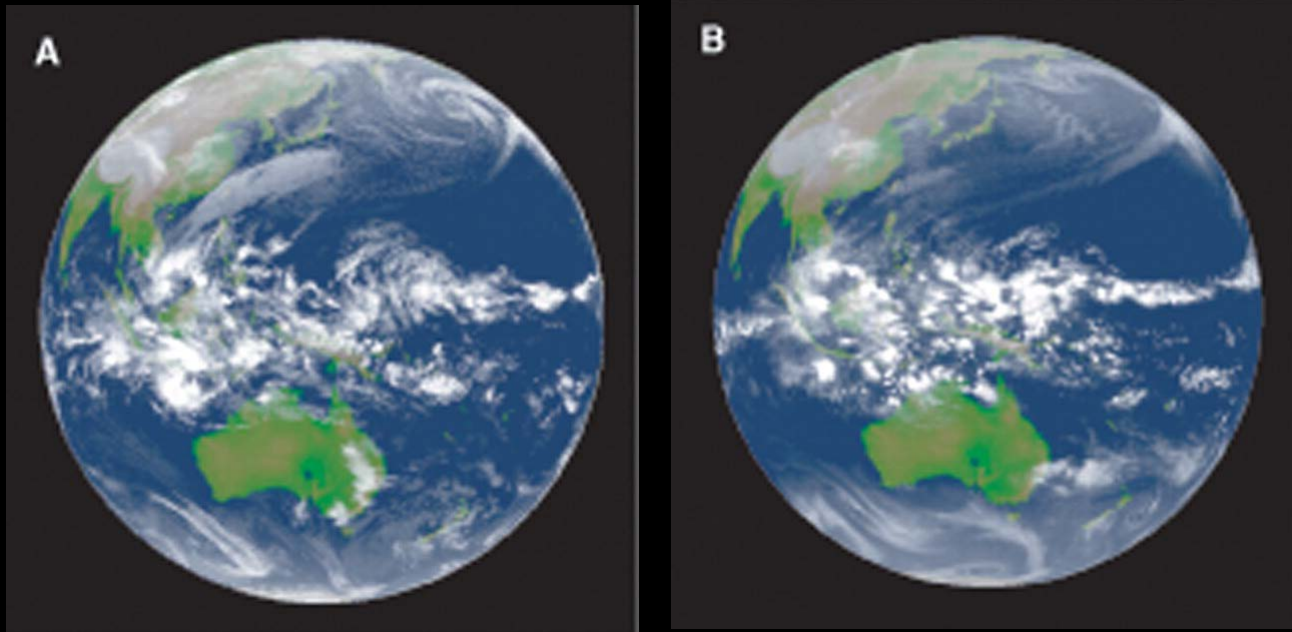
気象研究では、  
データとして**解析**  
**値**を使います

**解析値**

**＝数値モデルによる予報＋観測**



# MJOの予報の困難さ



2007年に初めて、雲集団が発生  
から1カ月間先まで予報できた

A Madden-Julian Oscillation Event Realistically Simulated by a Global Cloud-Resolving Model, Hiroaki Miura, Masaki Satoh, Tomoe Nasuno, Akira T. Noda, and Kazuyoshi Oouchi, Science 14 December 2007: 1763-1765.



今でも

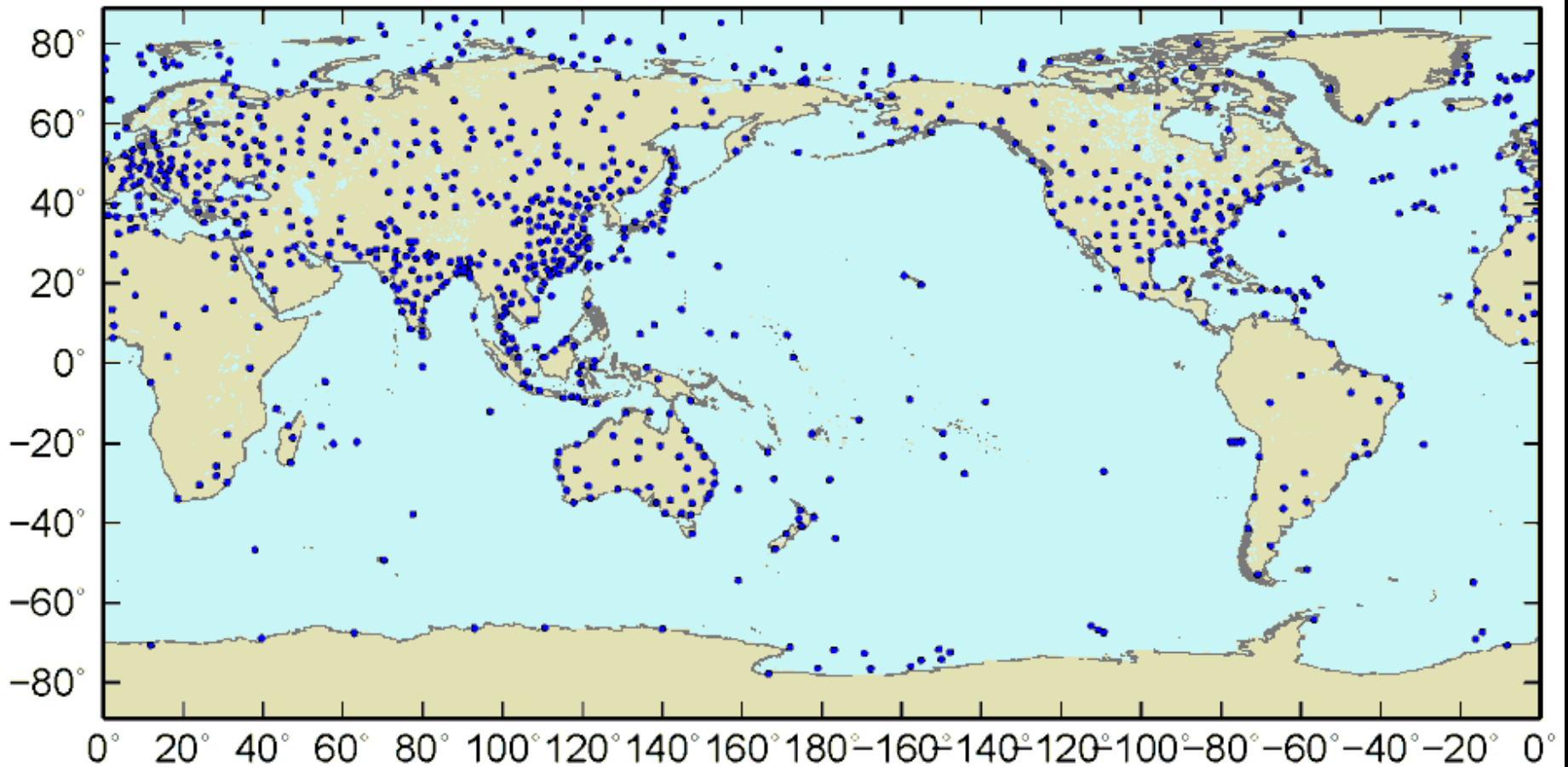
普段使われる天気予報では、1ヶ月もMJOを予報するのは難しい

なんたって**天気予報**ですから、1ヶ月後に出てきても仕方ありません。。

予報がうまくいかない熱帯のデータは、あまり信用できません。

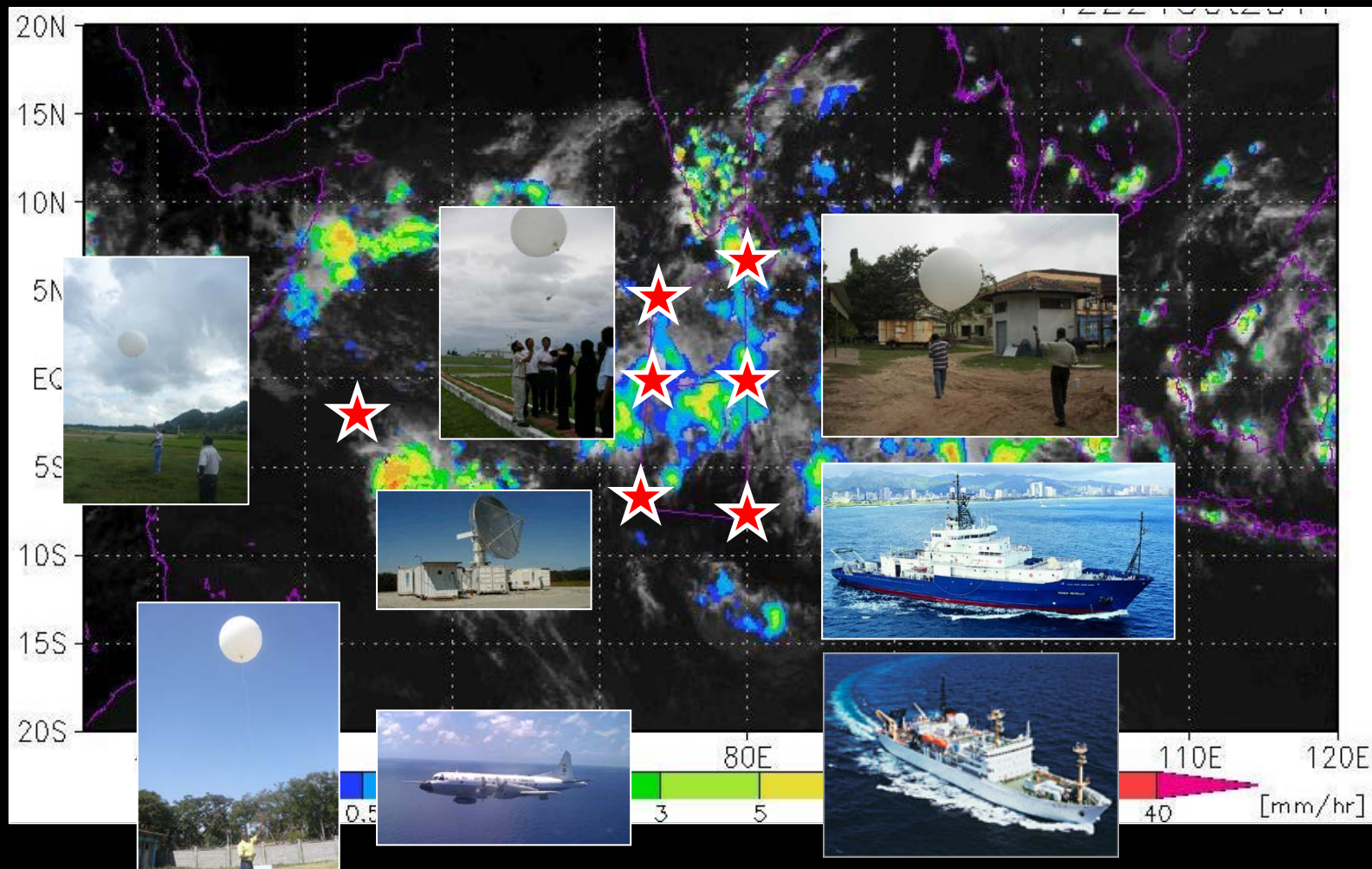


# 定期的な気象観測地点



熱帯海洋上には殆ど無い！！！！

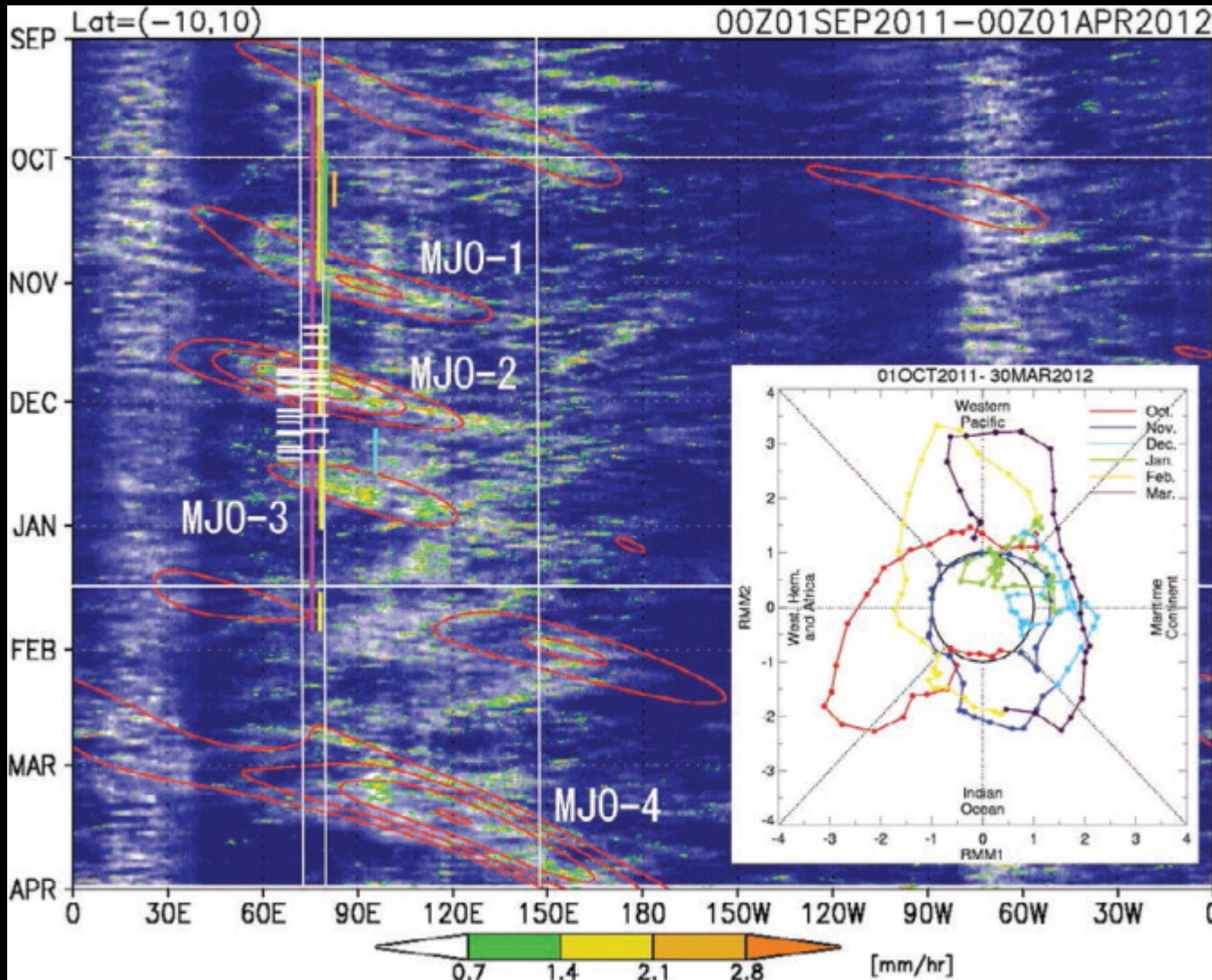
# 国際協力しながら大々的に



長期（約3ヶ月間）の観測を行いました



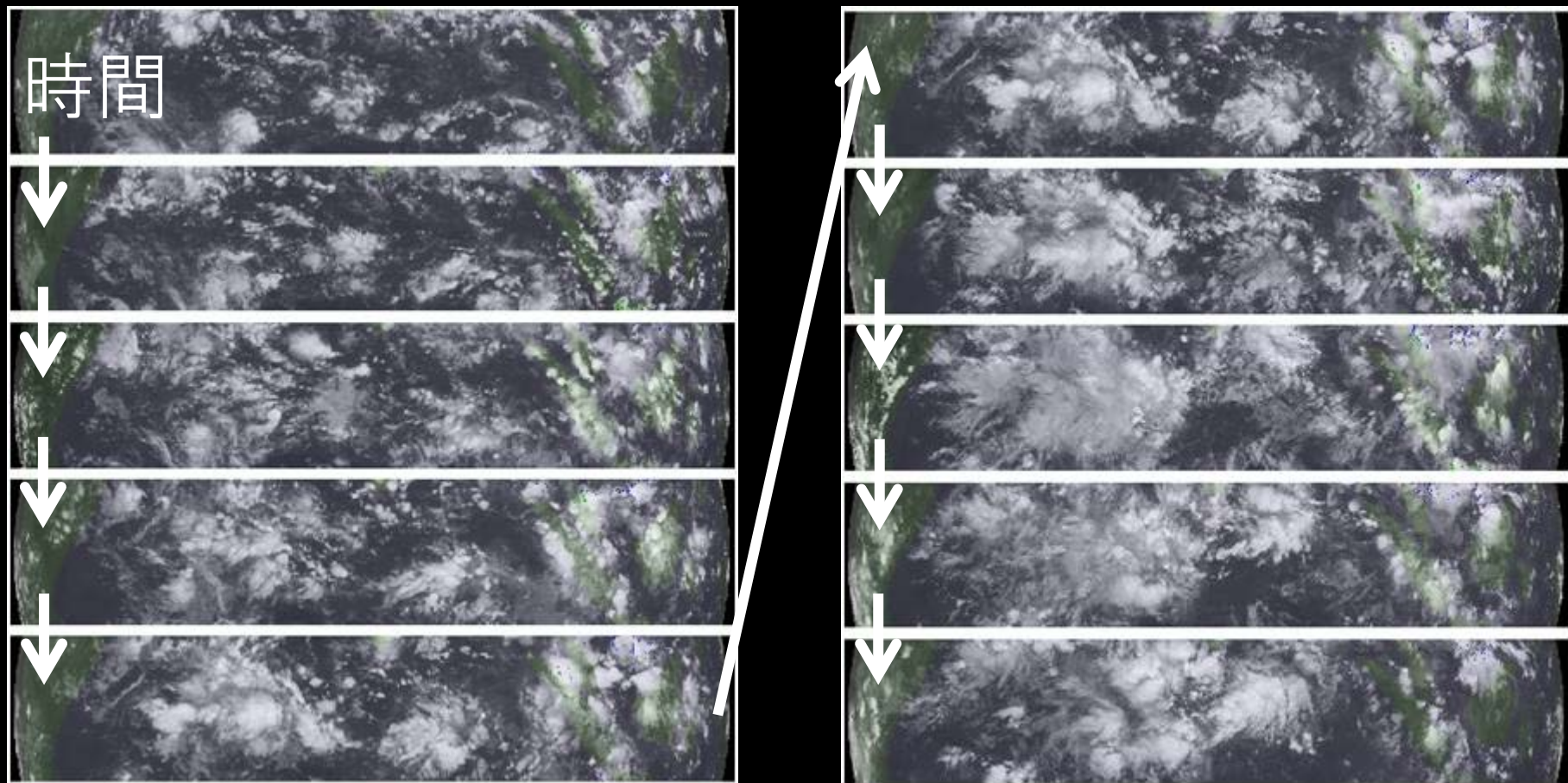
# 観測は成功



3つの  
MJOを  
観測でき  
ました。

Yoneyama, Kunio, Chidong Zhang, Charles N. Long, 2013: Tracking Pulses of the Madden–Julian Oscillation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 94, 1871–1891. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00157.1>

# その時のMJOの1つ



雲がだんだん増えてくる

「何故、このような大きな雲群に

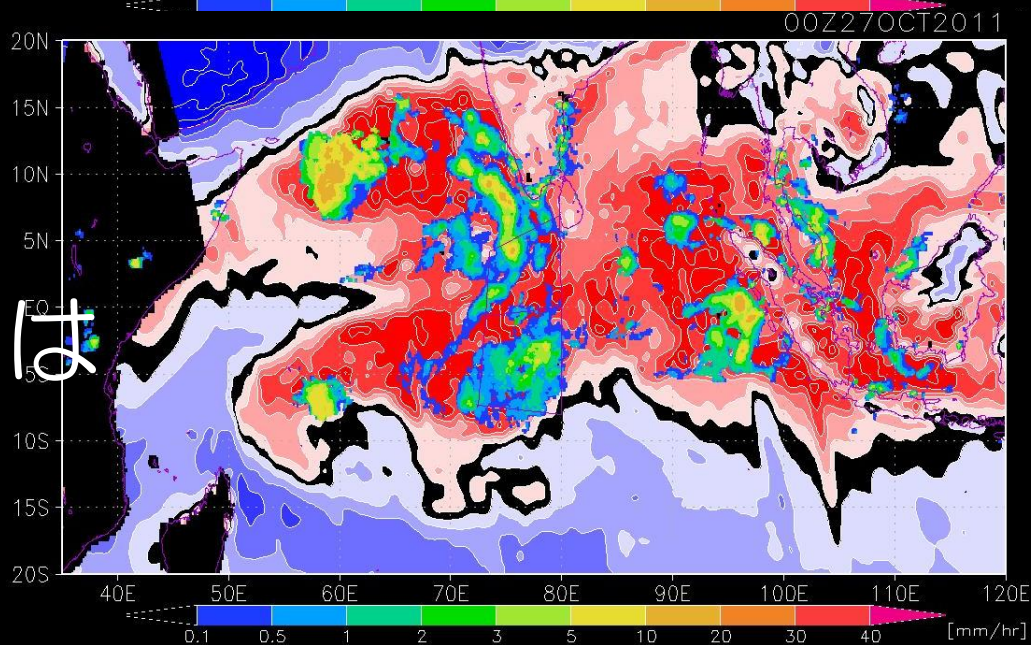
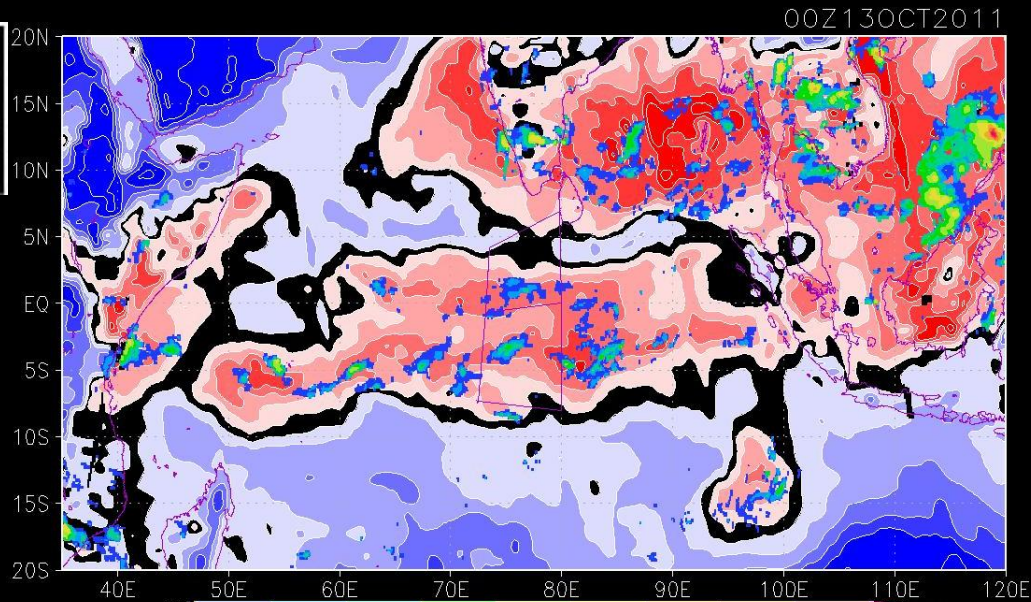
発達するのか？」

MJOの謎を解き明かすには

何を観測すれば良いか？



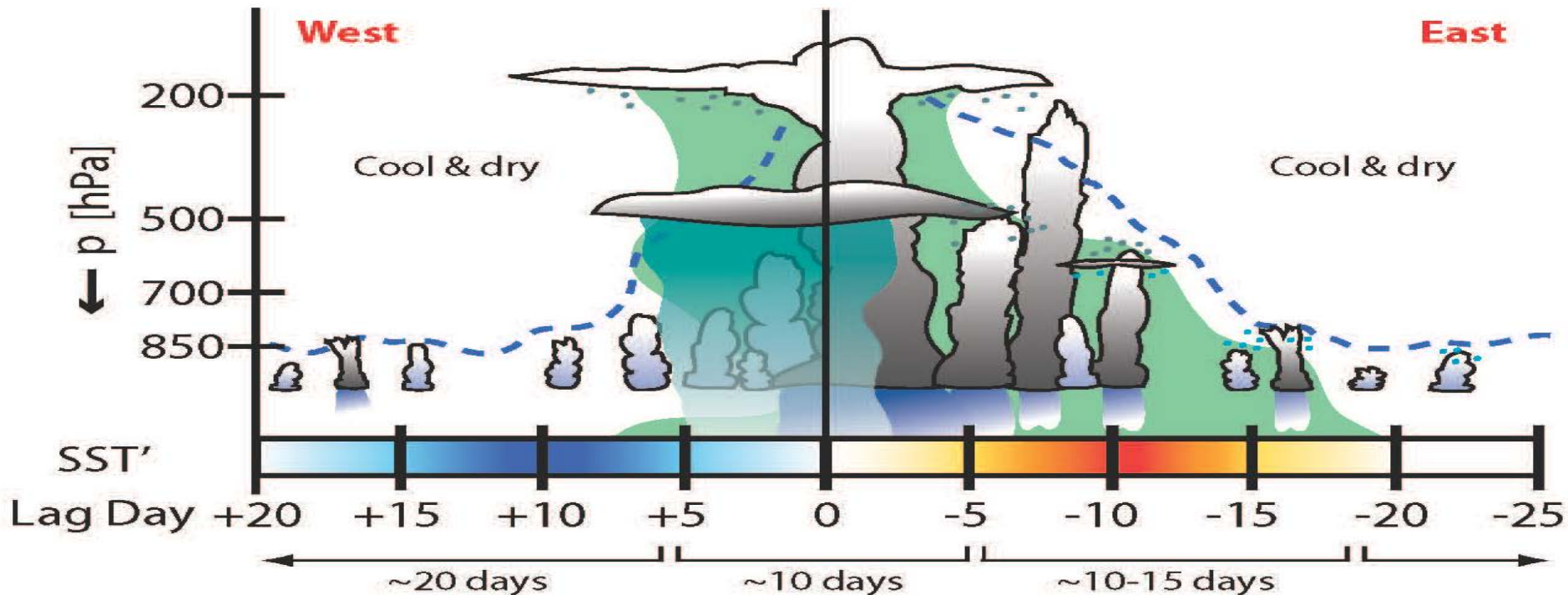
# MJOの発達と水蒸気



雲が大規模になるには

水蒸気が必要

# 大きな雲群に発達するためには



大量の水蒸気を蓄積する必要

「大きな雲群に発達するためには  
大量の水蒸気を蓄積する必要」

水蒸気の大規模に蓄積していく

メカニズムを観測（明らかに）

したい

でも、そんなに難しいの？

（ここでは赤道波の様な外力は考えません）

雲と雨の違い

を考えてみましょう



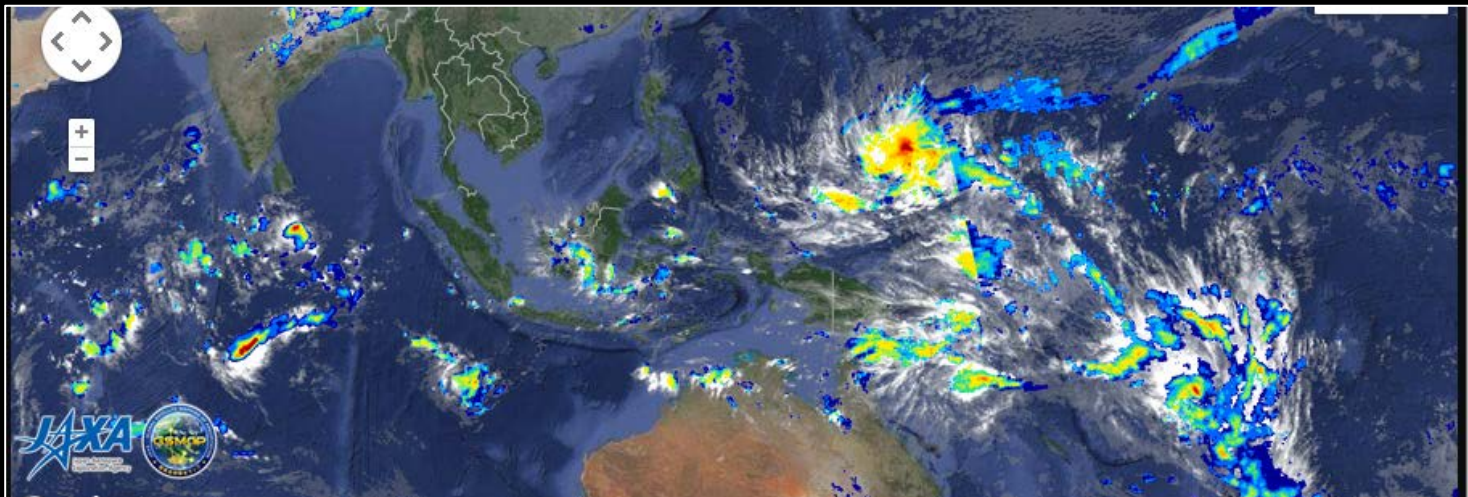
雲って何でしょう？



水蒸気が凝結したものですね。



# 雨って何でしょう？



水蒸気が凝結したものの

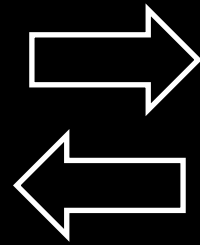
JAXA世界の雨分布速報より ([http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index\\_j.htm](http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index_j.htm))

# 水の凝結

これを？

凝結熱という

凝結



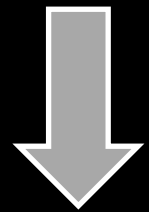
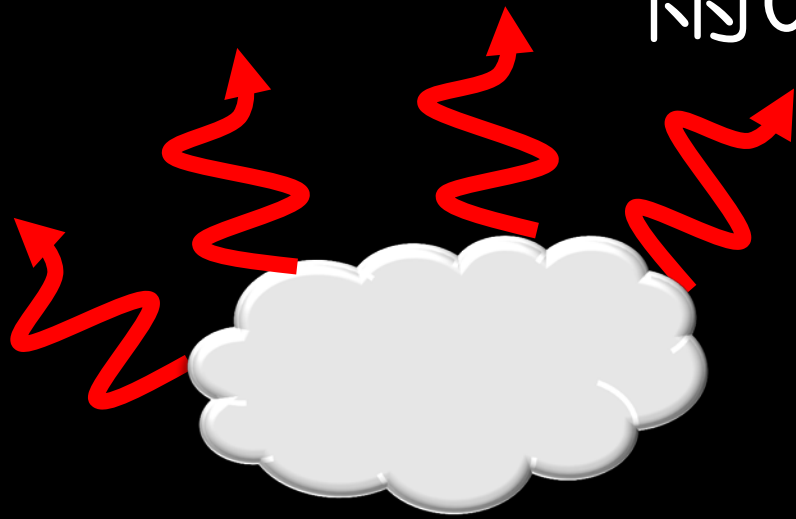
水蒸気

水を保持したままの場合は？

熱を加えることで、元の水蒸気に戻ることが出来ます。

凝結熱＝蒸発熱

# 雨の役割



雨で水が落ちると？

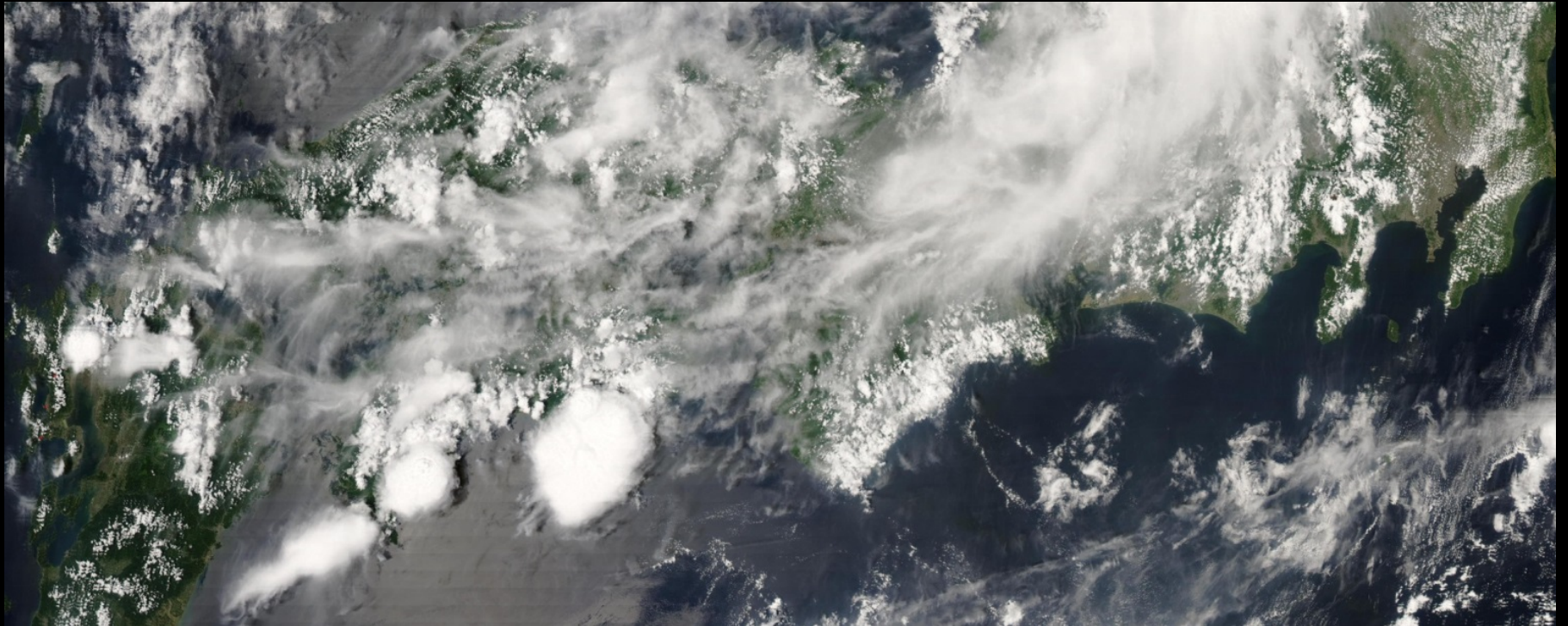
元の水蒸気には戻せない

雨の量＝大気にもたらされた熱量



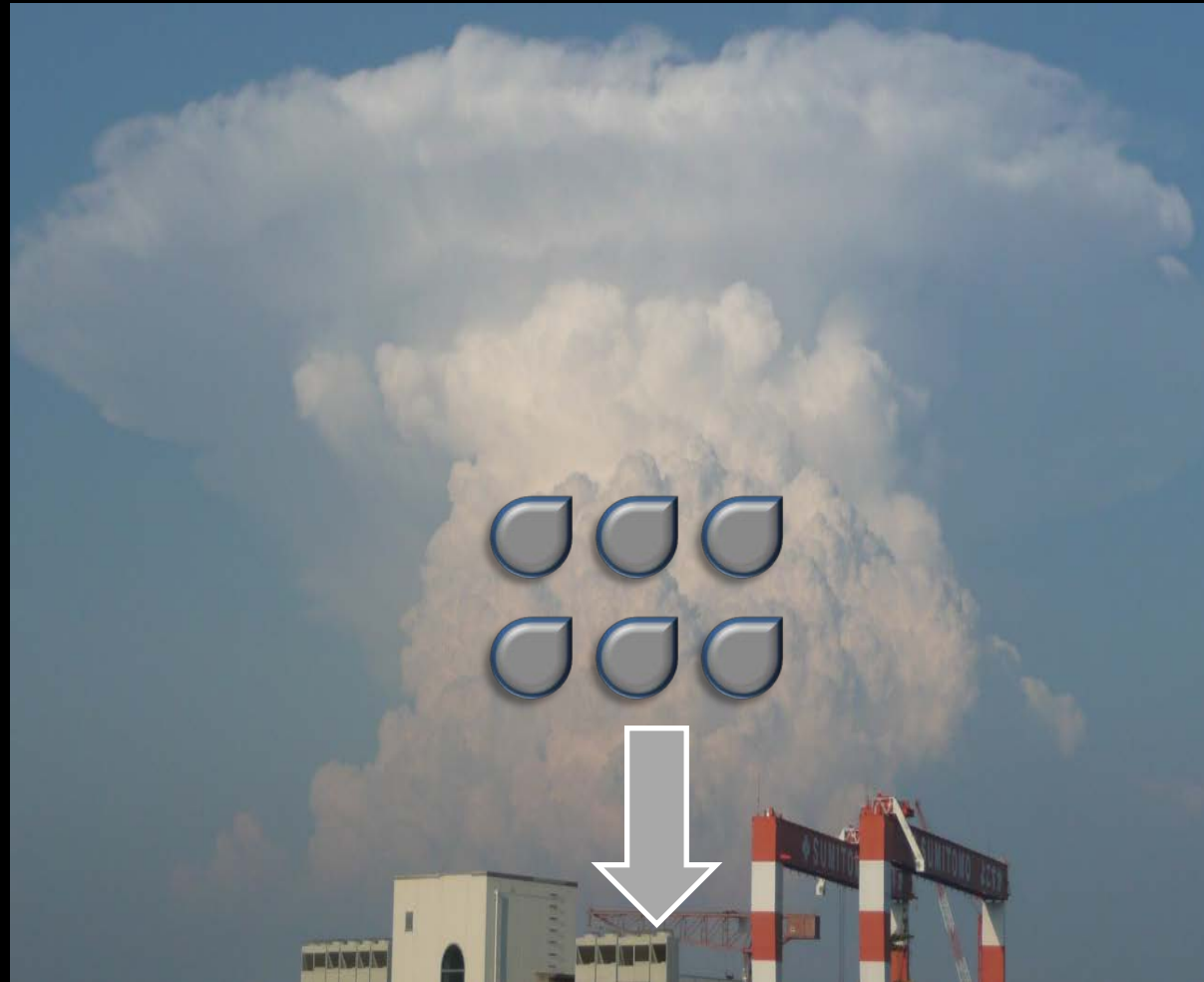
熱帯では

太陽の日差しが強いので、常に**積雲が**  
**発達しやすい状況**になっています



ウィキペディア Summer thunderstorm clouds over Japan.jpg より

# 水蒸気増減＝？

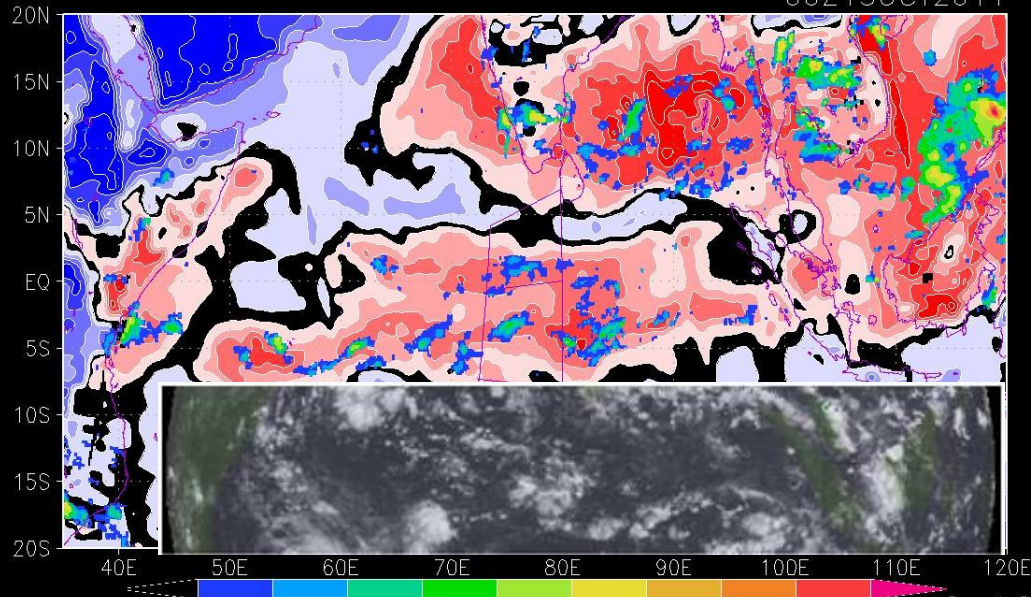


雨があると、水蒸気は減ります



# では、MJOに戻ります

00Z13OCT2011



MJOが発達する

前の**水蒸気蓄**

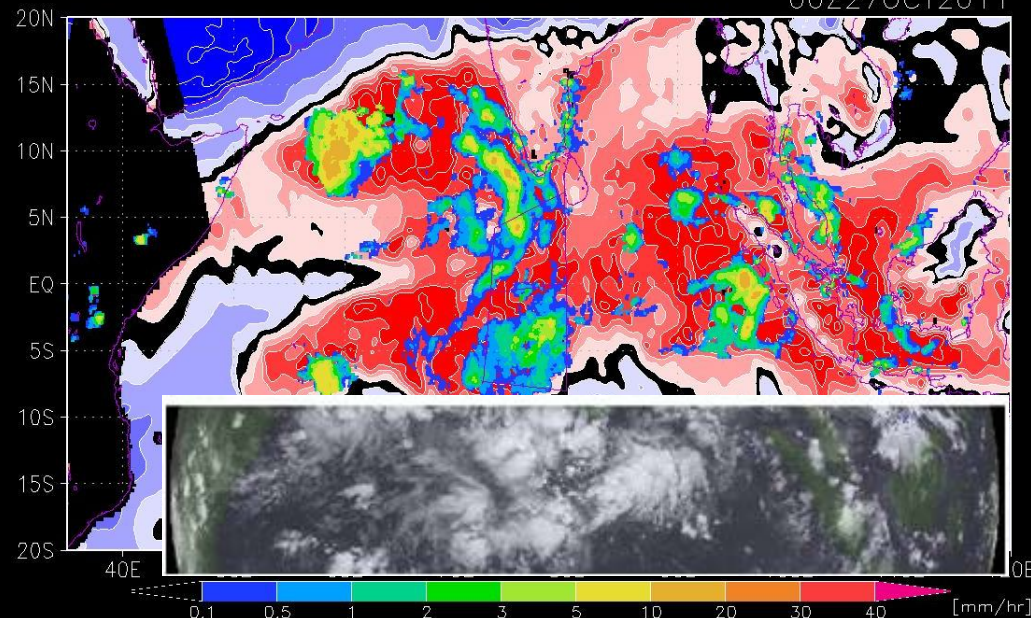
**積の時期**でも

雨は降っている

水蒸気を減らそうと

している？

00Z27OCT2011



これを踏まえて、

MJOの発達の最新の理論

を見てみましょう

最初は

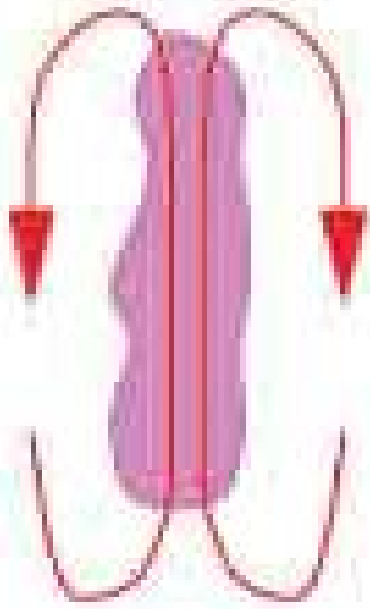
水蒸気が上空に殆ど無い場合は、

積雲はあまり発達できま

せん

# MJO発達の最新理論 (Stage 1)

stage 1



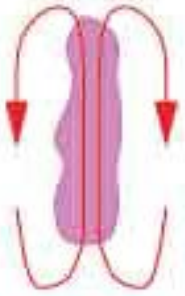
こんな積雲の場合は、**上**  
**と下にかき混ぜる**だけ。

海面からの供給を考えると、**トータルとしては水**  
**蒸気の増加**



# Stage 1 の雲

stage 1

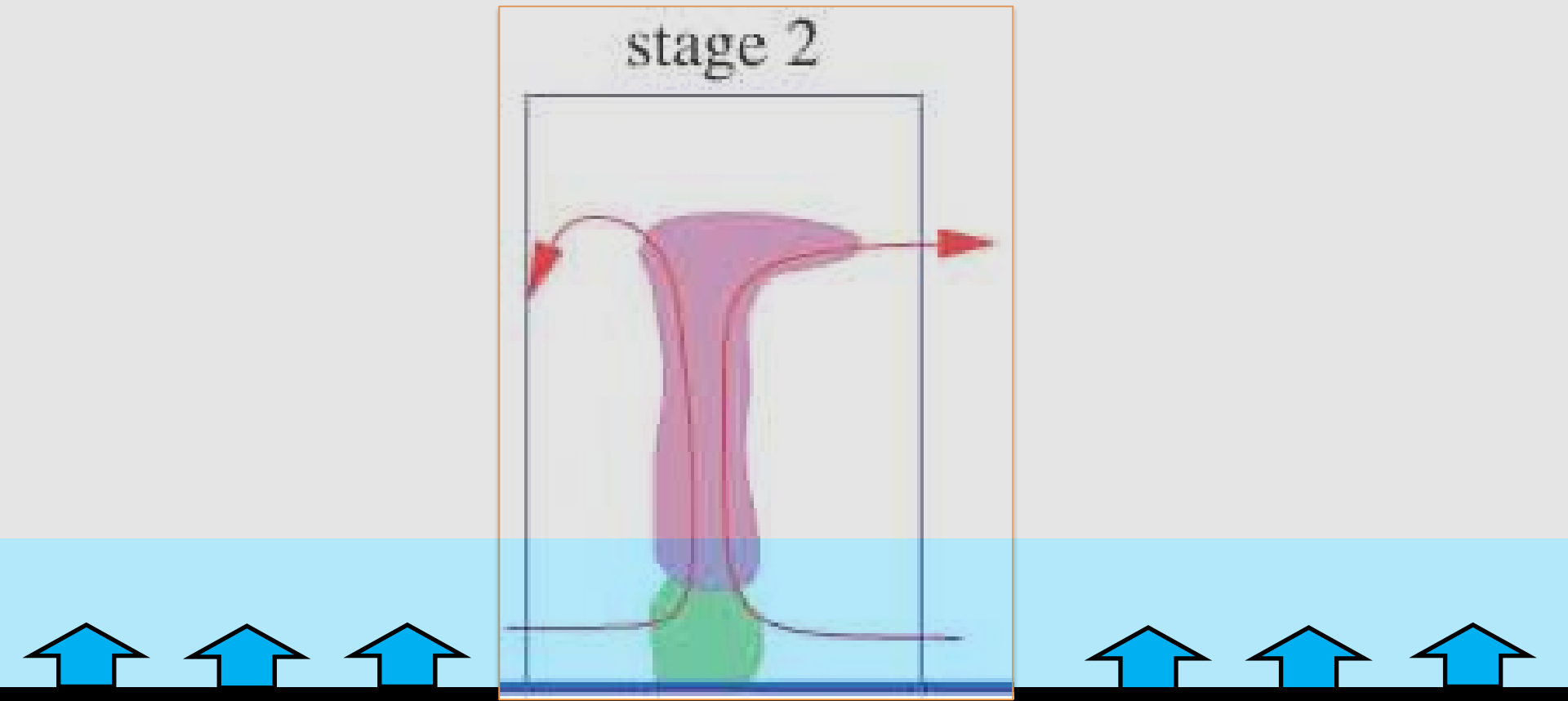


ある程度、水蒸気が貯まると

積雲は発達して、降水がもたらされます。

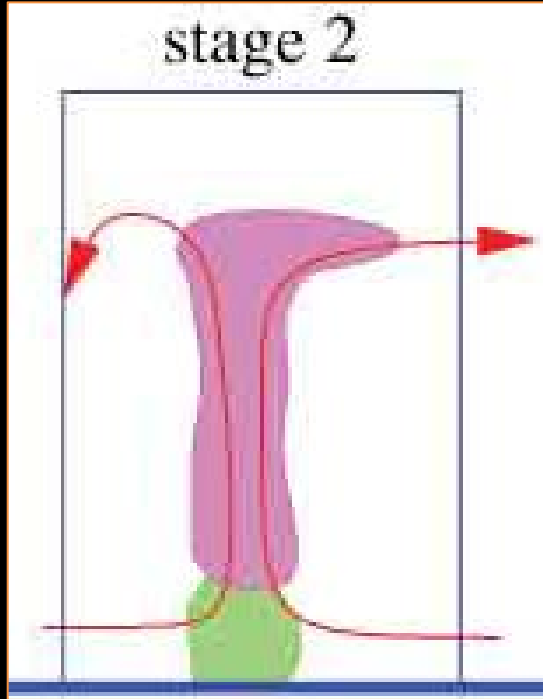
でも、大規模に集団化するには水蒸気は足りません。

# MJO発達の最新理論 ( Stage 2 )



海面からの供給が十分にあるので、ある程度の大きさを考えるとトータルでは水蒸気の増加

# Stage 2の雲



このような雲をCongestus とよぶ

因みに日本語訳は？



大きい領域で、水蒸気が貯まると

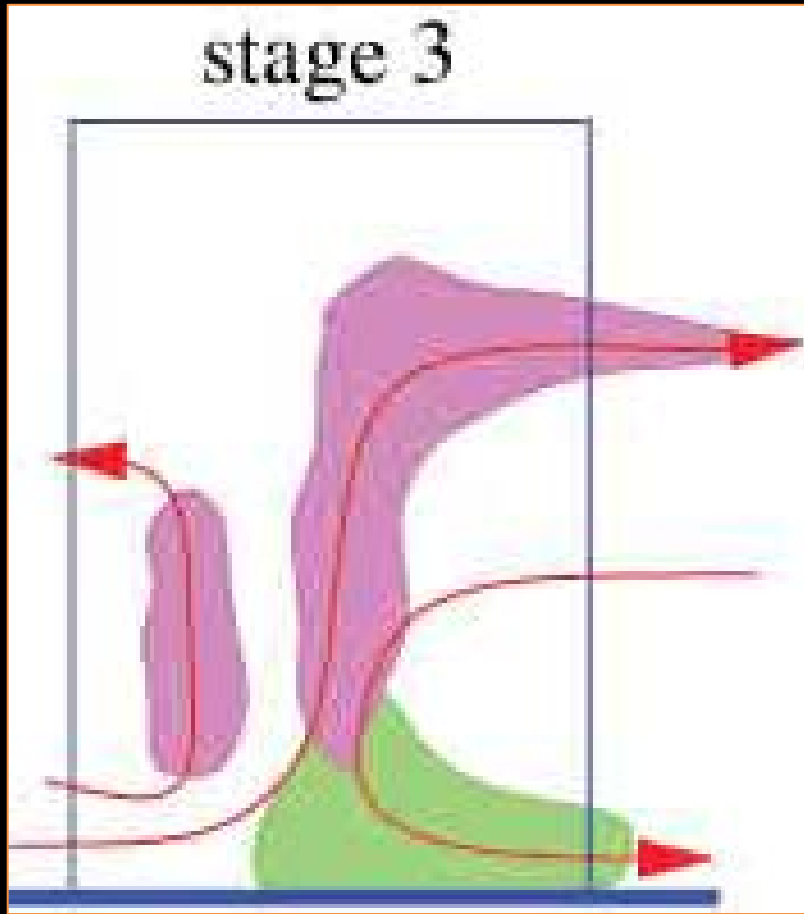
積雲が、大規模に集団化

することが出来ます。

集団化すると、逆の作用が

あります。

# MJO発達の最新理論（Stage 3）

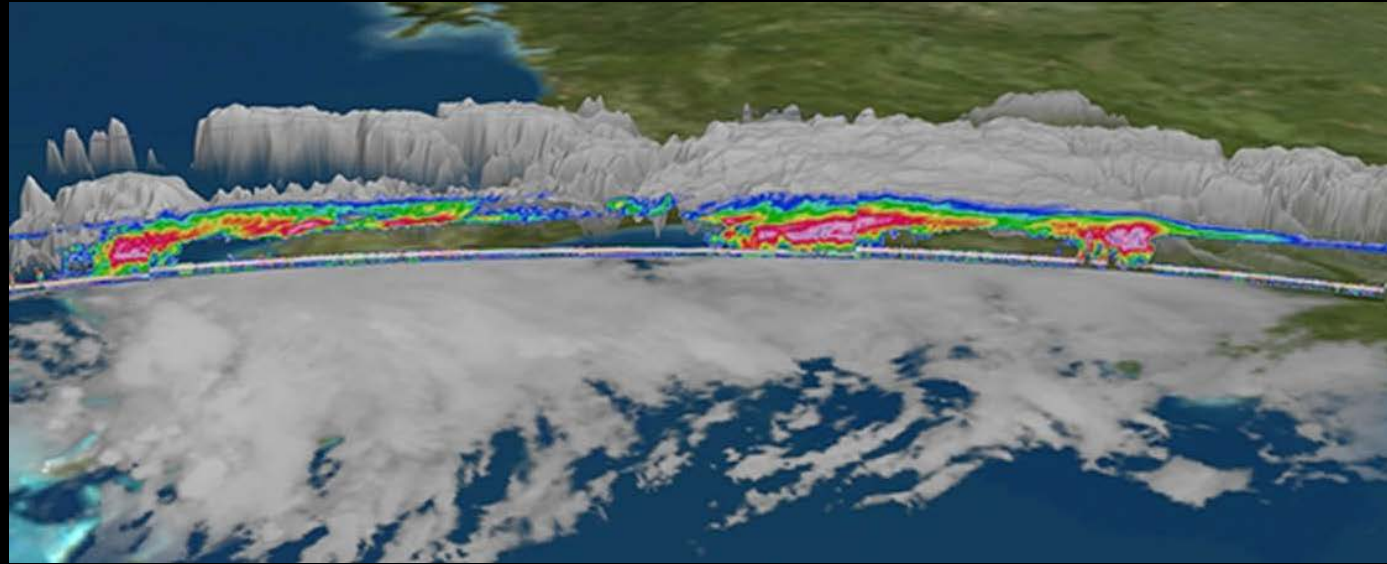
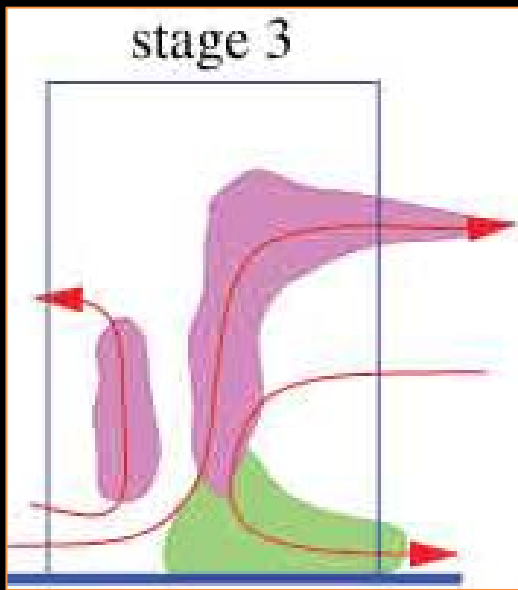


中層から空気を下ろすと  
下層は極端に乾燥

中緯度では、フェーン  
を思い浮かべれば、近  
いです。

この場合は、水蒸気は減少する

# Stage 3の雲



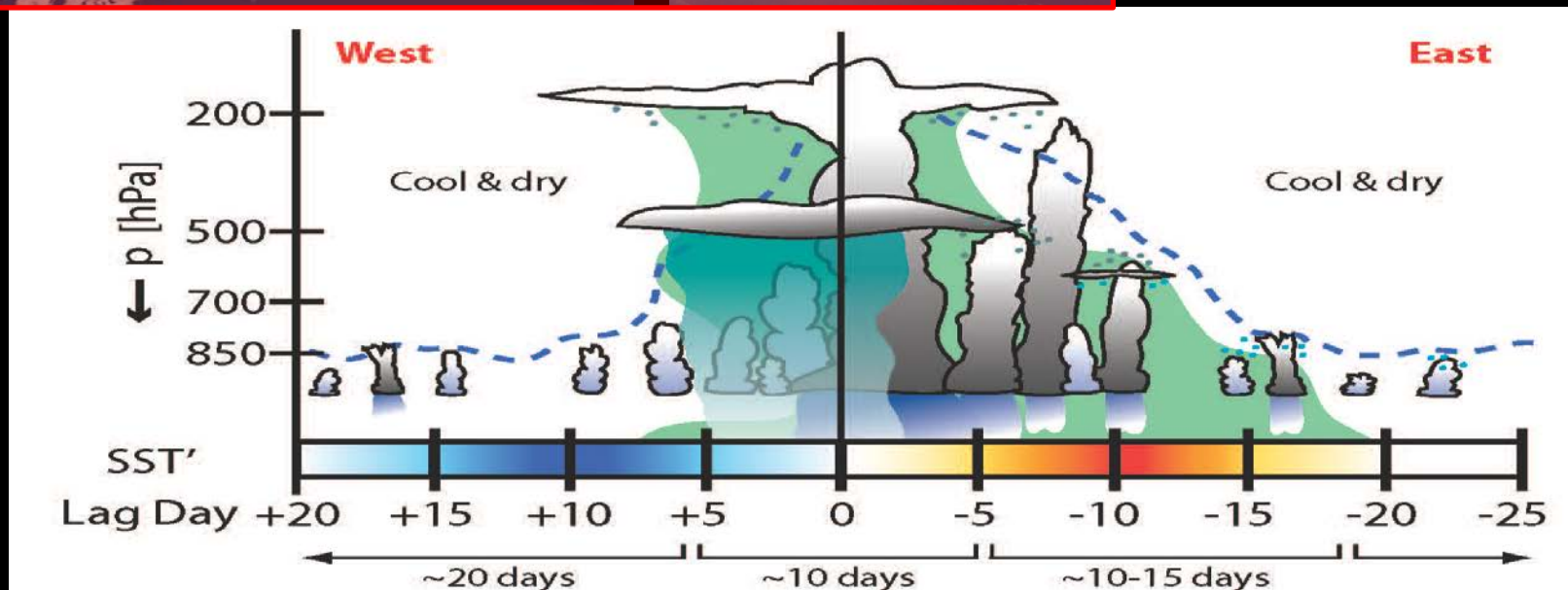
このような雲を「組織化した雲」

とよび

NASAのHPから引用

([http://www.nasa.gov/mission\\_pages/hurricanes/archives/2010/h2010\\_Nicole.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/hurricanes/archives/2010/h2010_Nicole.html))

# 観測の目的は



MJOの中のステージ別の雲と水蒸気の  
増加・減少の関係を明らかにすること

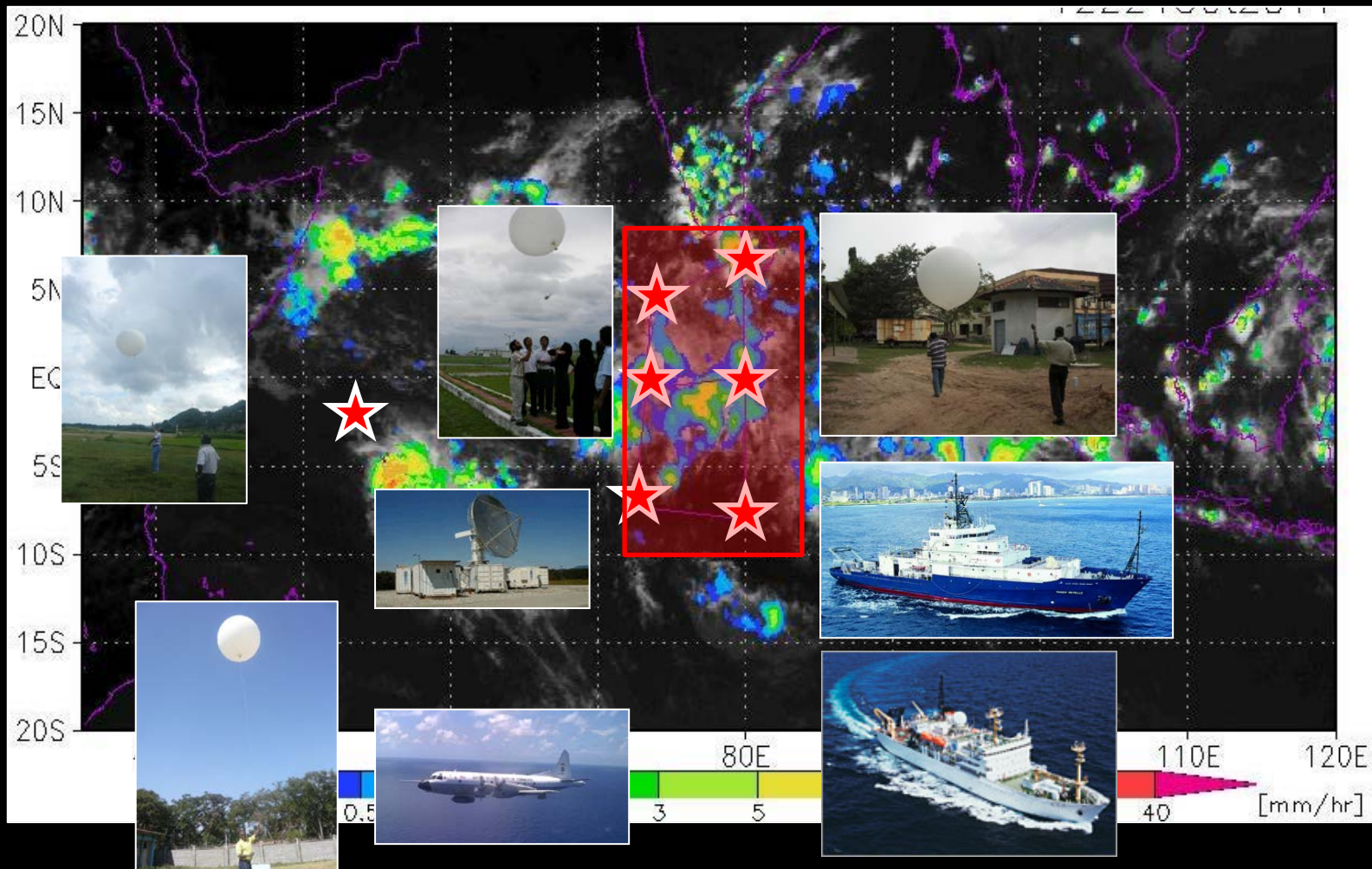


# 2011年に行われた観測では



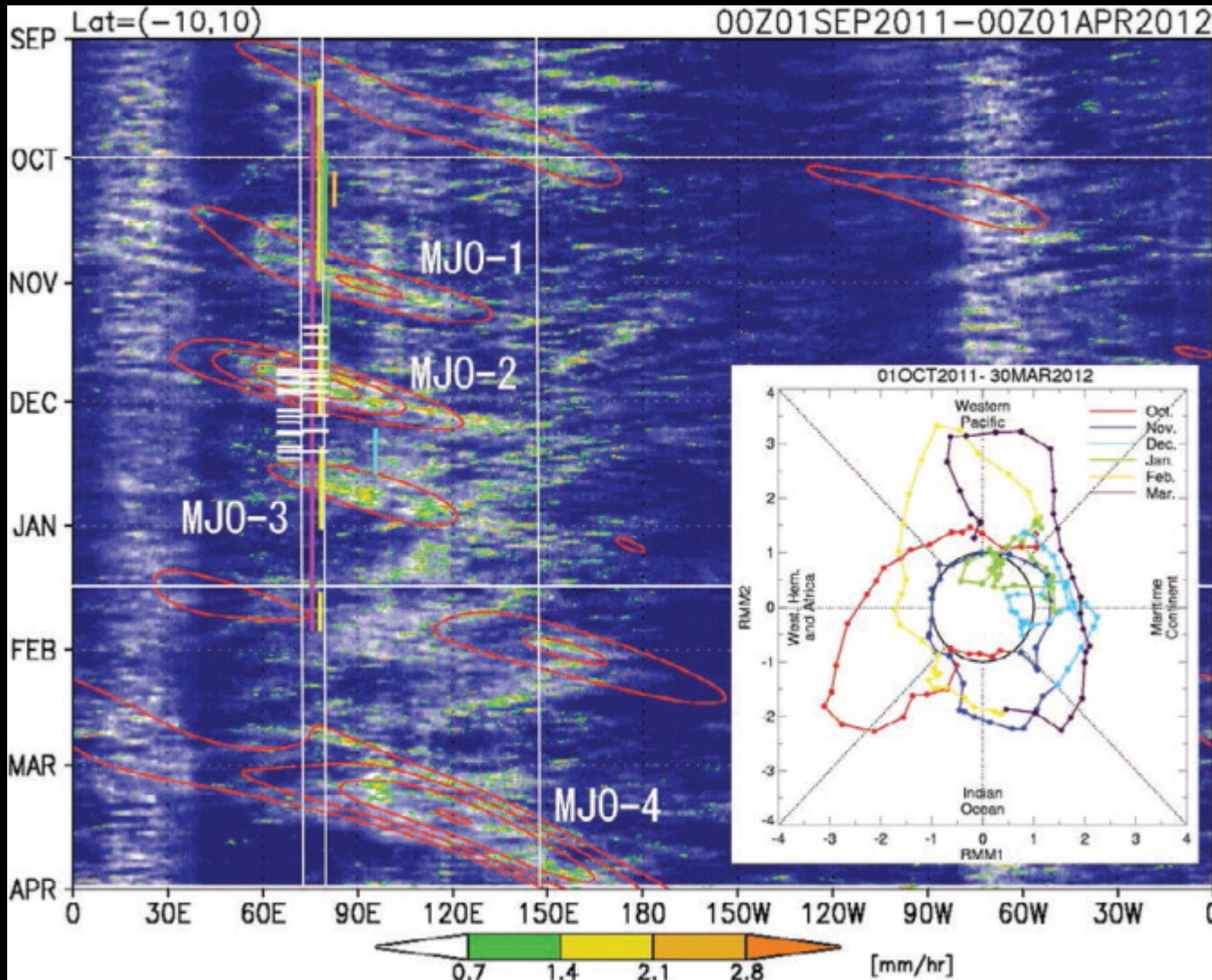
このような測器を使いました。

# 2つの領域の水蒸気の入りと、 増減、雲の種類を観測しました





# 観測は成功



3つの  
MJOを  
観測でき  
ました。

Yoneyama, Kunio, Chidong Zhang, Charles N. Long, 2013: Tracking Pulses of the Madden–Julian Oscillation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 94, 1871–1891. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00157.1>

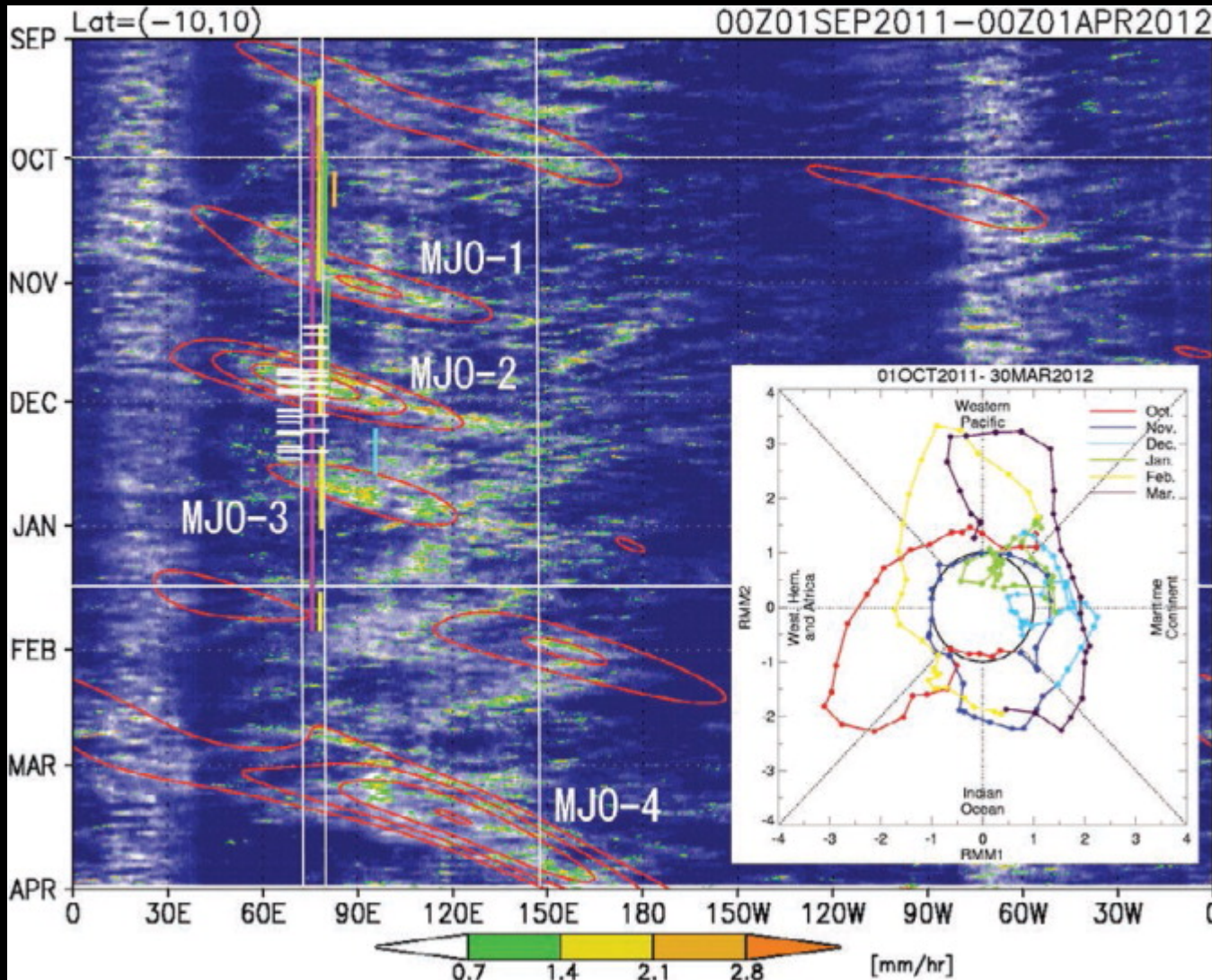
じゃあMJOは解決？

なかなかそう簡単にはいきま  
せん。。。



# 観測は成功したのだけど

一般性。。



Yoneyama, Kunio, Chidong Zhang, Charles N. Long, 2013: Tracking Pulses of the Madden–Julian Oscillation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 94, 1871–1891. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00157.1>

水の増減分 = 海から供給

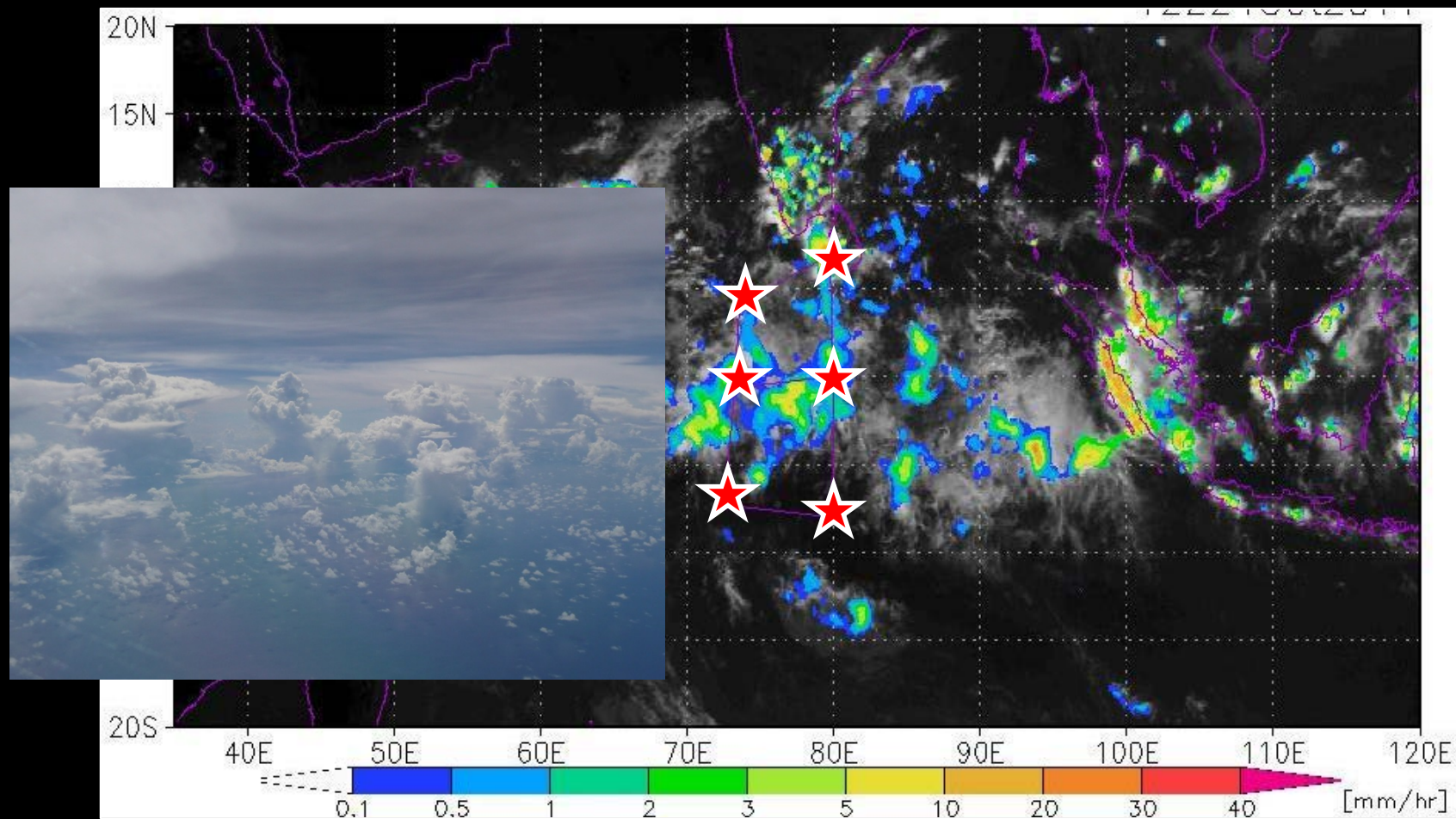
+ 水平方向の出入り - 雨

なのですが

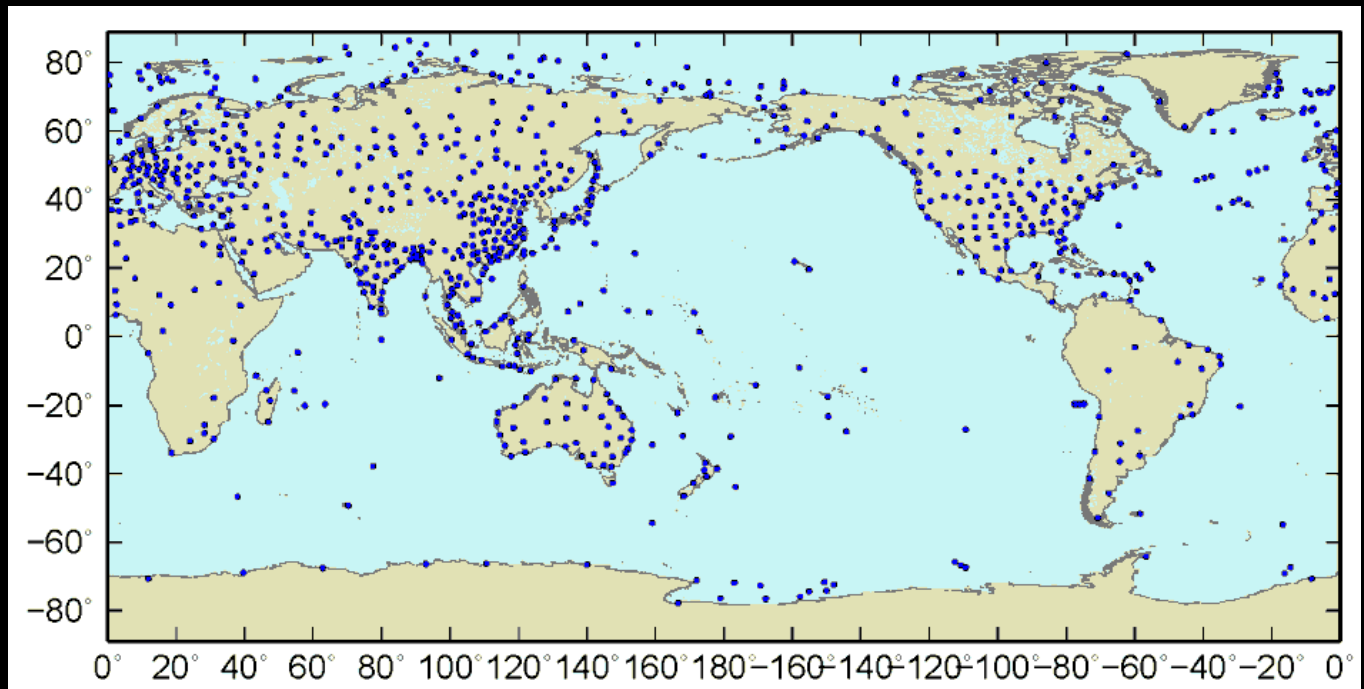
$$\pm 1 = 10 + 100 - 109 (111)$$

のようなイメージで誤差が大きい

# 雲の非一様性の問題もあります

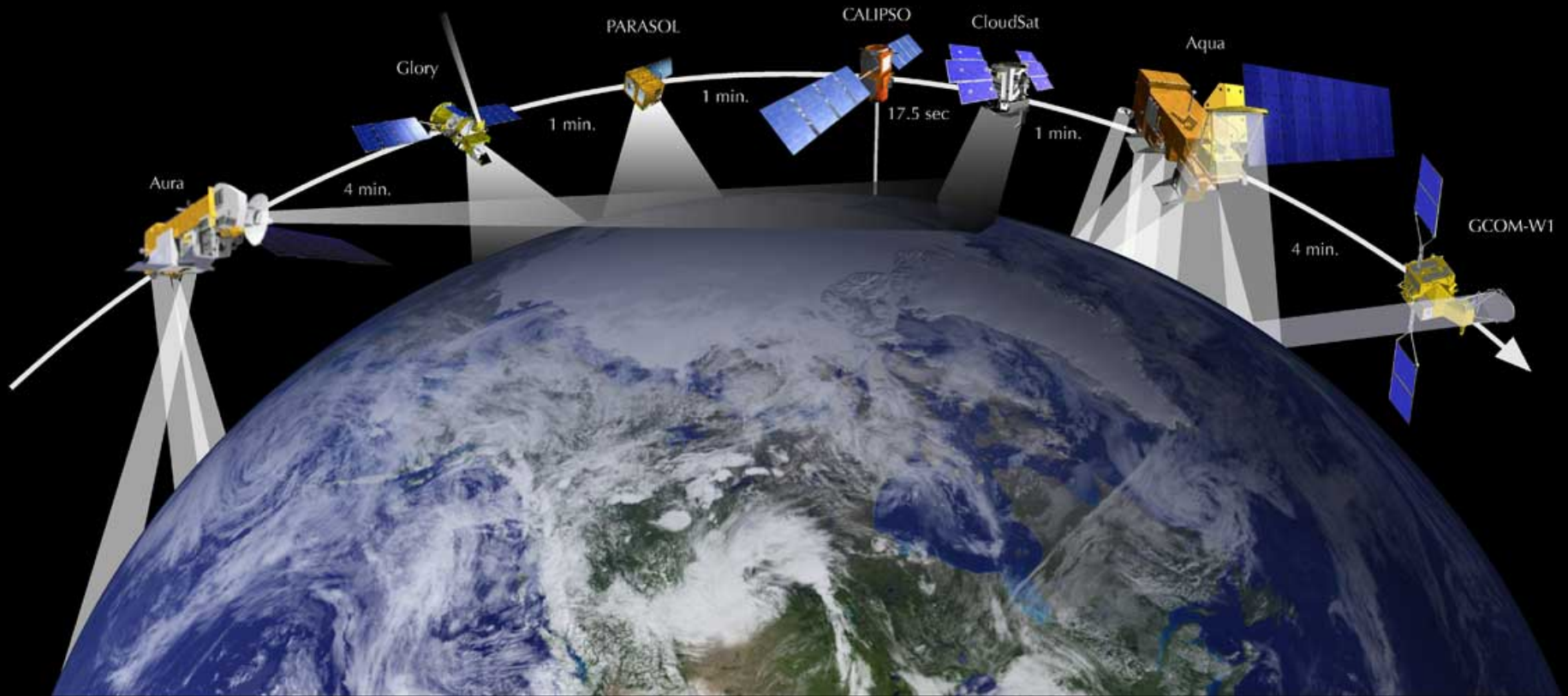


なので、これからも精度良い観測を続けていく必要があります。





# これからは

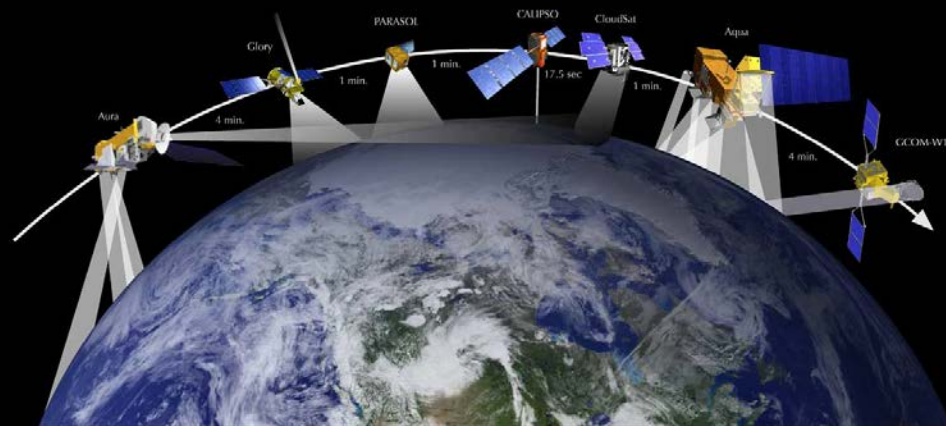


衛星観測をもっと利用することを考える必要  
があります。

NASAのHPから引用（  
[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/hurricanes/features/atrain.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/hurricanes/features/atrain.html)）

昨日もニュースになりました

降水観測衛星（GPM計画）に期待  
です。



ウォールストリートジャーナルより引用  
(<http://jp.wsj.com/article/SB10001424052702304227204579409710039075116.html>)

An aerial photograph of a tropical island, likely in the Maldives, showing a long, narrow island with a white sand beach and turquoise water. The island is surrounded by a shallow lagoon with a sandy bottom and several small, circular islands. The water transitions from a light turquoise near the shore to a deep blue further out. The sky is a clear, bright blue with some light clouds.

以上です