

## 「海洋大気の相互作用が招く気候変動」

海洋研究開発機構 (JAMSTEC)  
地球環境部門 大気海洋相互作用研究センター  
米山 邦夫

- 1) 自己紹介
- 2) 日本に豪雨災害をもたらす台風・線状降水帯
- 3) 全球大気大循環と熱帯の役割
- 4) 異常気象を引き起こす様々な現象
  - ・ エルニーニョ・南方振動現象 (ENSO)
  - ・ インド洋ダイポールモード現象 (IOD)
  - ・ マッデン・ジュリアン振動 (MJO)
- 5) 最新の国内・国際動向

## 「海洋大気の相互作用が招く気候変動」

海洋研究開発機構 (JAMSTEC)  
地球環境部門 大気海洋相互作用研究センター  
米山 邦夫

### 1) 自己紹介

- 略歴： 1990 JAMSTEC(当時は特別認可法人 海洋科学技術センター)入所
- 1992 - 93 科学技術庁(当時)にて、旧原子力船「むつ」→海洋地球研究船「みらい」の業務を担当
- ・ 世界で初めて気象ドップラーレーダーを船舶に常設搭載(1997～) → MJO研究のきっかけ
  - ・ 「みらい」(12航海)他、計28航海(800日以上)乗船の観測屋(だったが、現場を離れ10年)
- 2016 - 20 放送大学 一般教養科目「ダイナミックな地球」で「大気の循環」(2回分)を担当
- ・ 本日の講演資料にはこのクラスで紹介した大気現象の理解に必要な基礎も取り入れた
- 2020 - 世界気象機関・世界天気研究計画・科学運営委員会メンバー(任期4年)
- ・ 本日最後のトピックの情報源はココ
- 2022 - 現職
- ・ 昨今の極端現象とそれに伴う災害の激甚化を受けた所属部署の改編

専門： 熱帯気象学 (ゆえに、熱帯の現象紹介に偏ります)

# 第190回 防災まちづくり談義の会

主催：防災塾だるま

## 「海洋大気の相互作用が招く気候変動」

海洋研究開発機構 (JAMSTEC)  
地球環境部門 大気海洋相互作用研究センター  
米山 邦夫

- 1) 自己紹介
- 2) 日本に豪雨災害をもたらす台風・線状降水帯

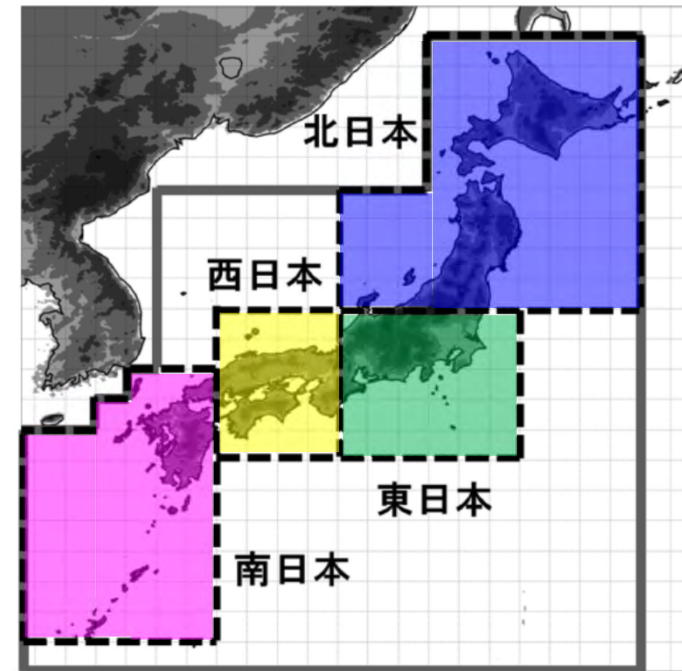
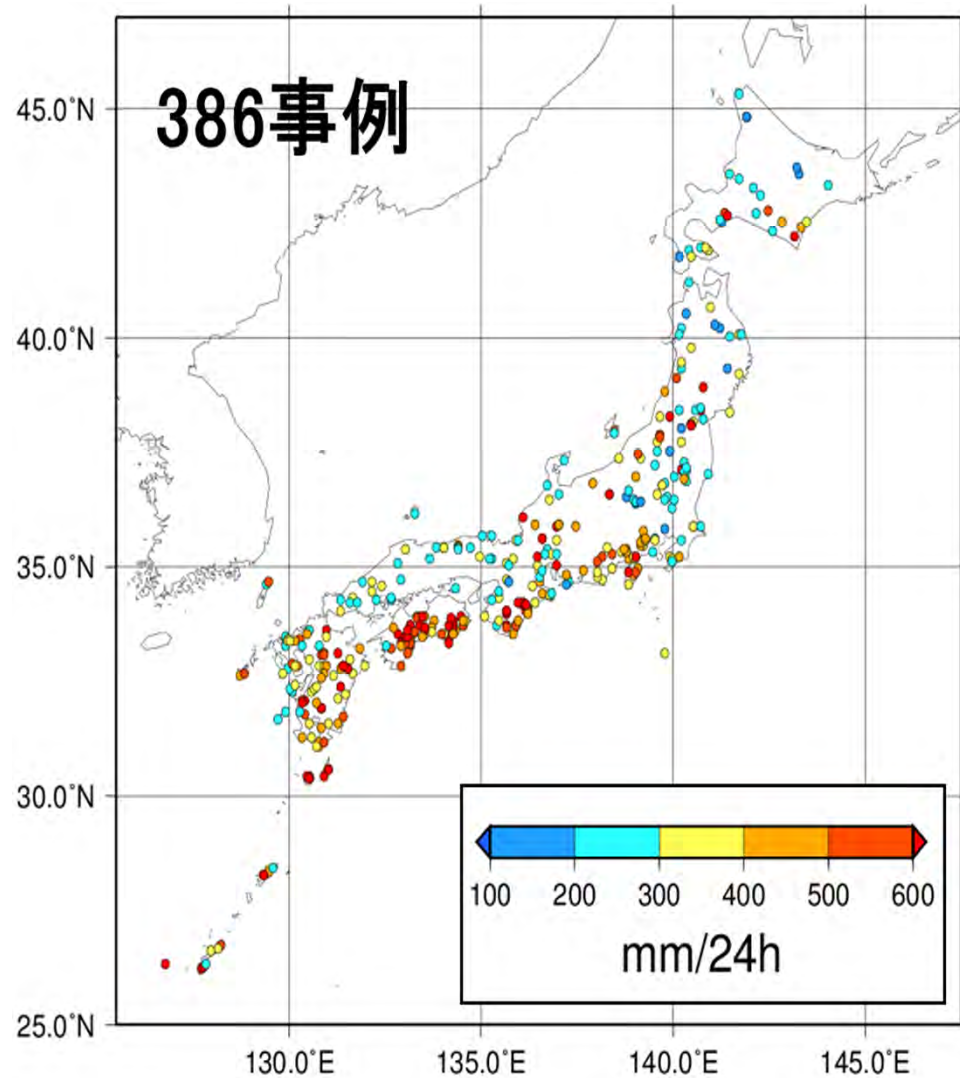
本日の講演では、後半の話の理解につながるポイントの紹介となります。台風や線状降水帯に係る最前線の研究については、昨年8月19日にオンラインで開催した一般向け講演会に詳しく、現在もYouTubeで閲覧可能となっていますので、ご興味のある方は右のリンク先からご覧ください。



<https://www.jamstec.go.jp/j/pr-event/earth-env2022/>

2023年1月20日(金) at 横浜市 ぴおシティ6F

# 日本における集中豪雨の出現特性(1/3)

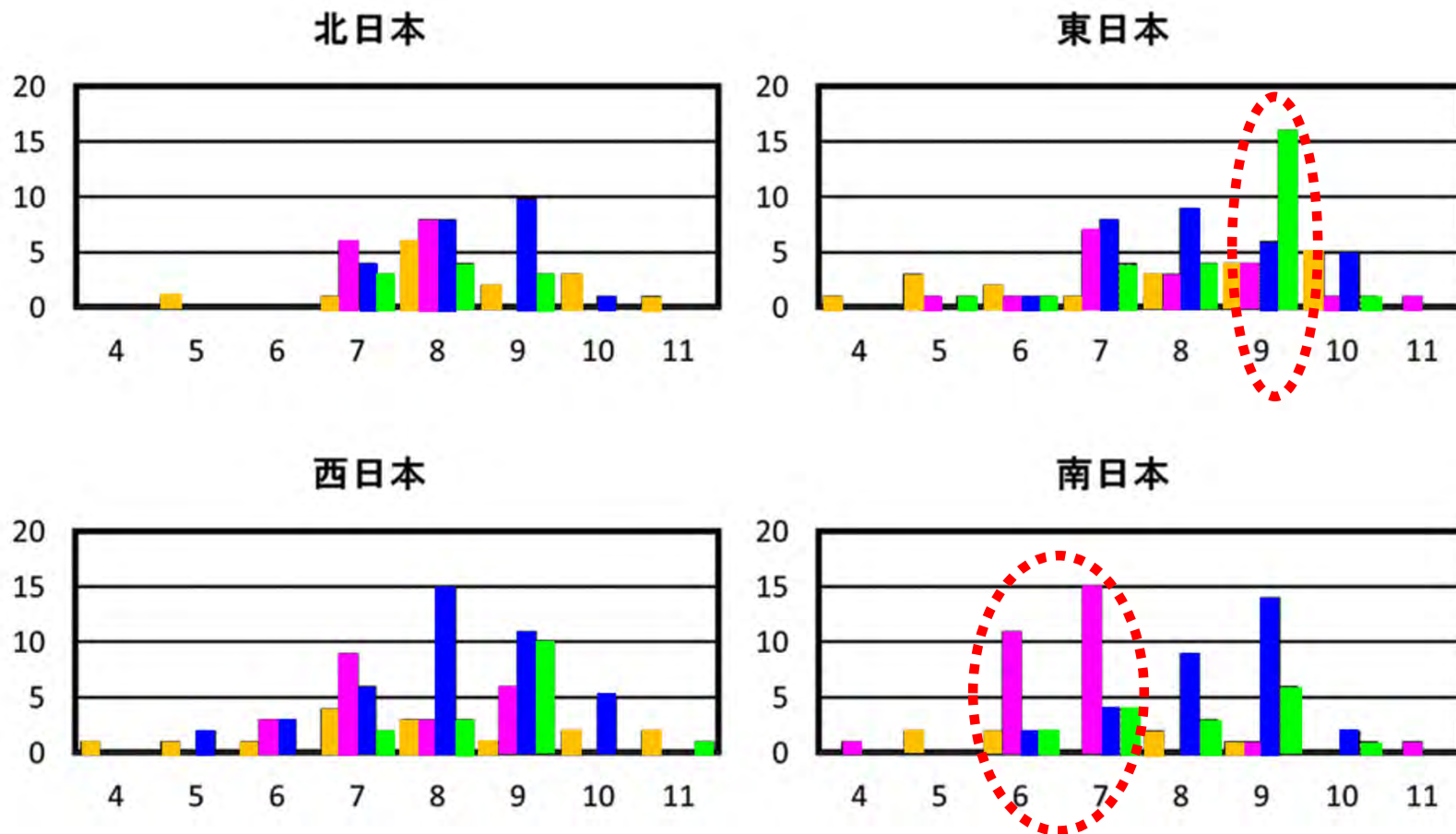


1995～2009年の4-11月期に観測された集中豪雨を同定し(左図)、その出現特性を4つに分けた日本の区域別(右図)で調べた。

出典： 津口・加藤(2014, 天気)  
© 2014 日本気象学会

# 日本における集中豪雨の出現特性(2/3)

## 総観規模擾乱の種類ごとに比べた月別の集中豪雨事例数



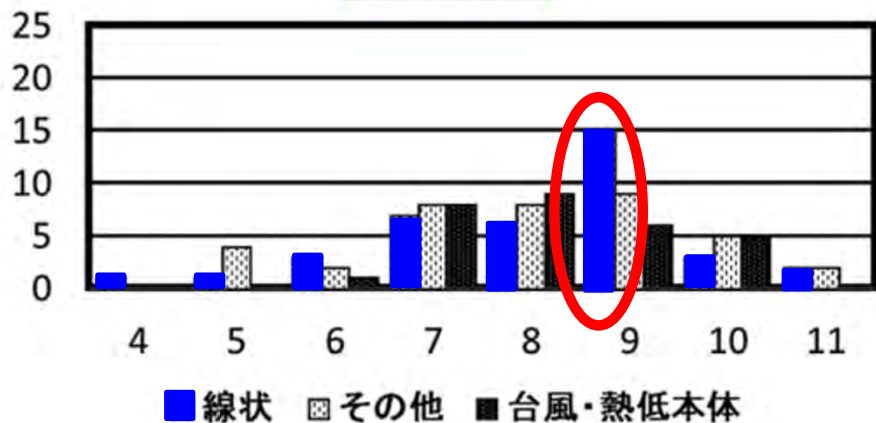
- 低気圧
- 台風・熱低本体 (中心から500km以内)
- 停滞前線
- 台風・熱低遠隔 (中心から500~1,500km)

出典: 津口・加藤(2014, 天気)  
 © 2014 日本気象学会  
 注) 色付けの加筆

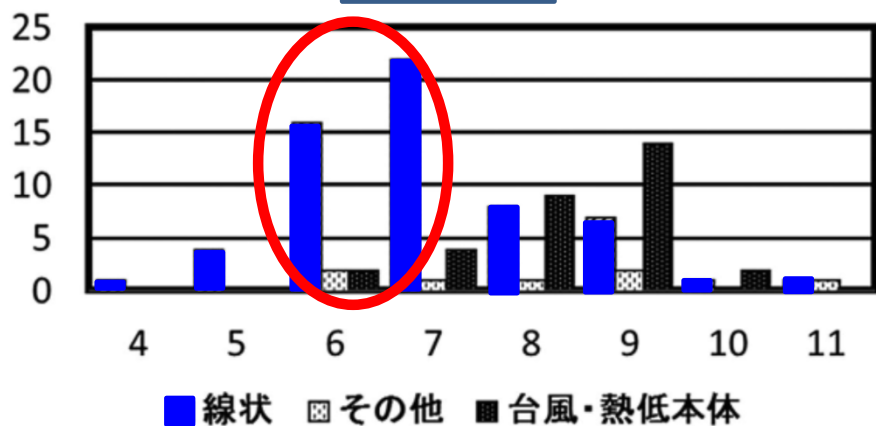
# 日本における集中豪雨の出現特性(3/3)

## 降水系の形状別集中豪雨事例数

東日本



南日本



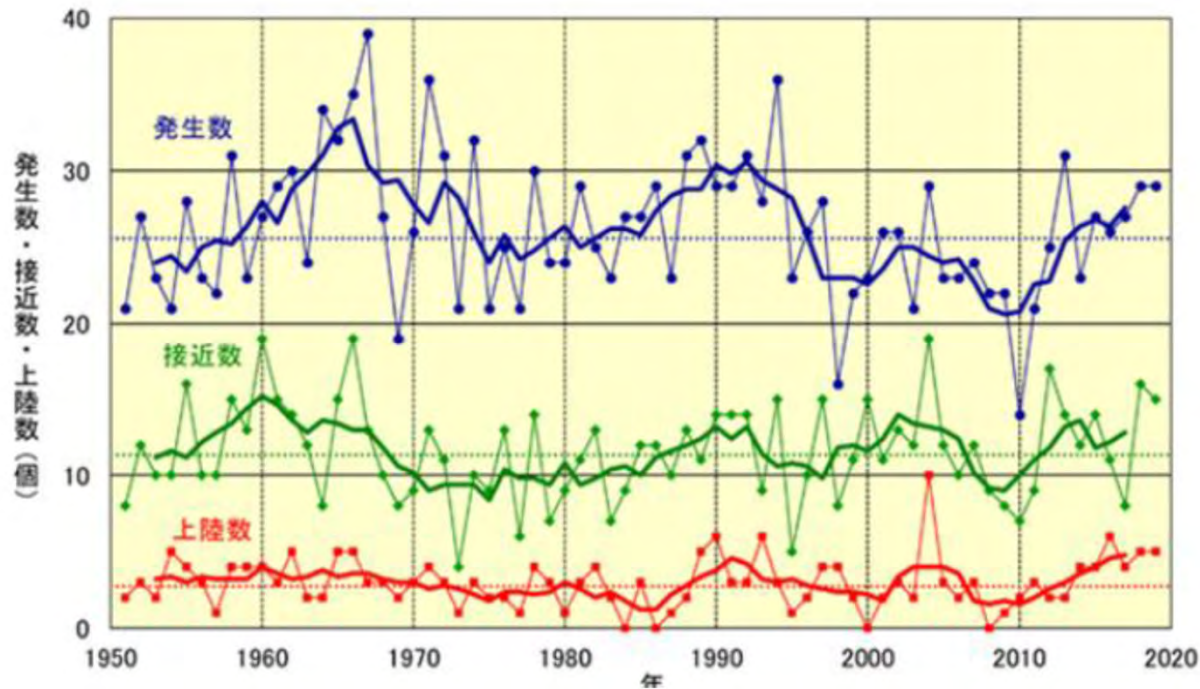
	北日本	東日本	西日本	南日本	
線状	25	38	45	60	168 (64.4%)
その他	32	38	16	7	93 (35.6%)
合計	57	76	61	67	261

台風・熱低本体事例を除き、線状を縦横比3以上の  
 の場合として定義した時の地域別出現頻度。  
 南日本では、線状降水帯が90%を占める。

出典： 津口・加藤(2014, 天気)  
 © 2014 日本気象学会  
 注) 色付けの加筆

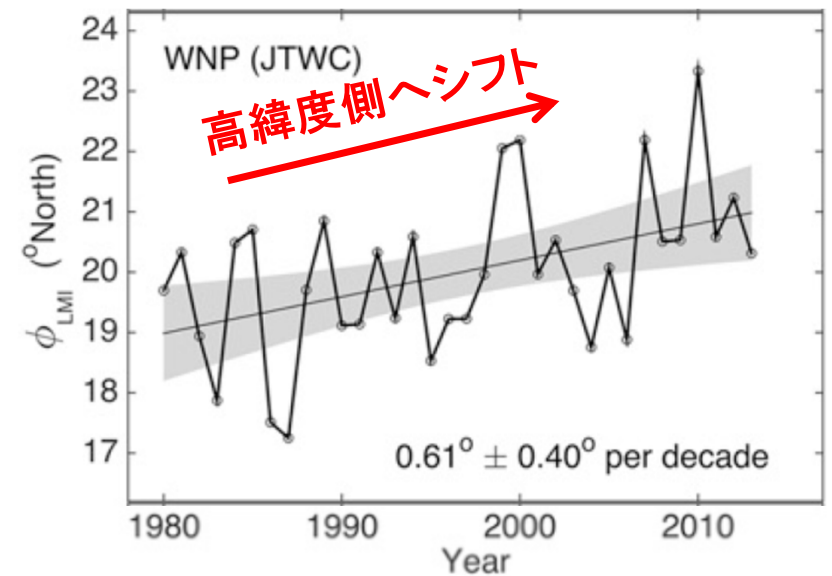
## 台風の年々変動(現在気候)

北西太平洋では、台風の発生数・日本への接近数・上陸数(・平均強度)の経年変化に長期傾向はみられない(左図)。その一方で、台風がその生涯中に最大の強度になる緯度は北進する長期傾向を示す(右図)。



台風の発生数・接近数・上陸数の経年変化。太線は5年移動平均。

出典： 文部科学省及び気象庁「日本の気候変動2020」  
<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/index.html>



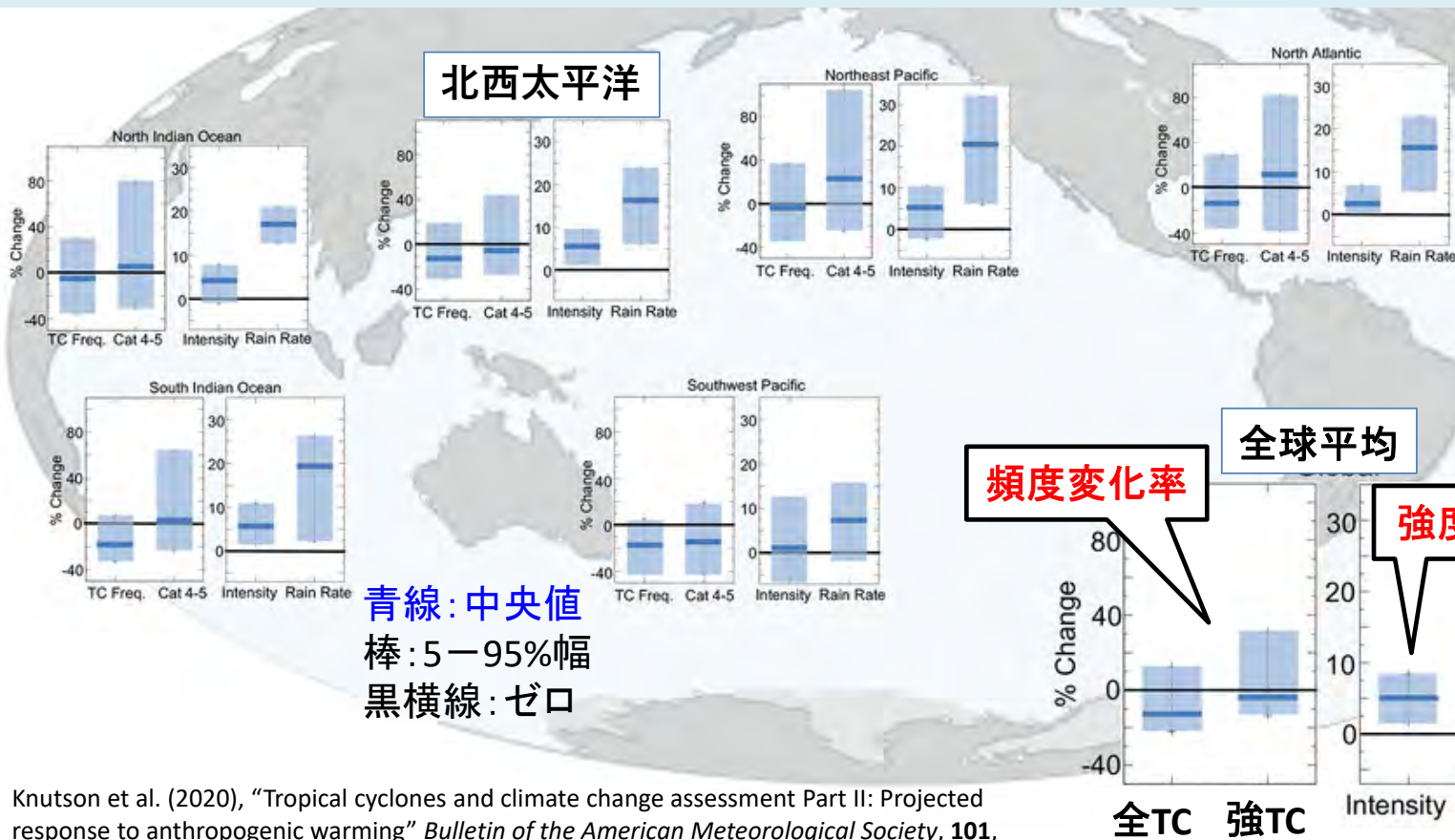
北西太平洋域において台風が最大強度になる緯度

Kossin et al. (2016, *Journal of Climate*)  
© 2016 American Meteorological Society

# 台風の将来予測

## Tropical Cyclone Projections (2°C Global Warming)

複数の気候モデルで2°C温暖化した時の台風の出現頻度の変化率(左箱、左が全平均、右が強いTCだけ平均)、平均強度(右箱:左)、降水強度(右箱:右)



北西太平洋

全球平均

頻度変化率

強度

TCに伴う  
降水強度

出現頻度は減少傾向にあるが有意には言えない。しかし、風速や降水強度は多くの海域で統計的に有意に強くなる。

青線: 中央値  
棒: 5-95%幅  
黒横線: ゼロ

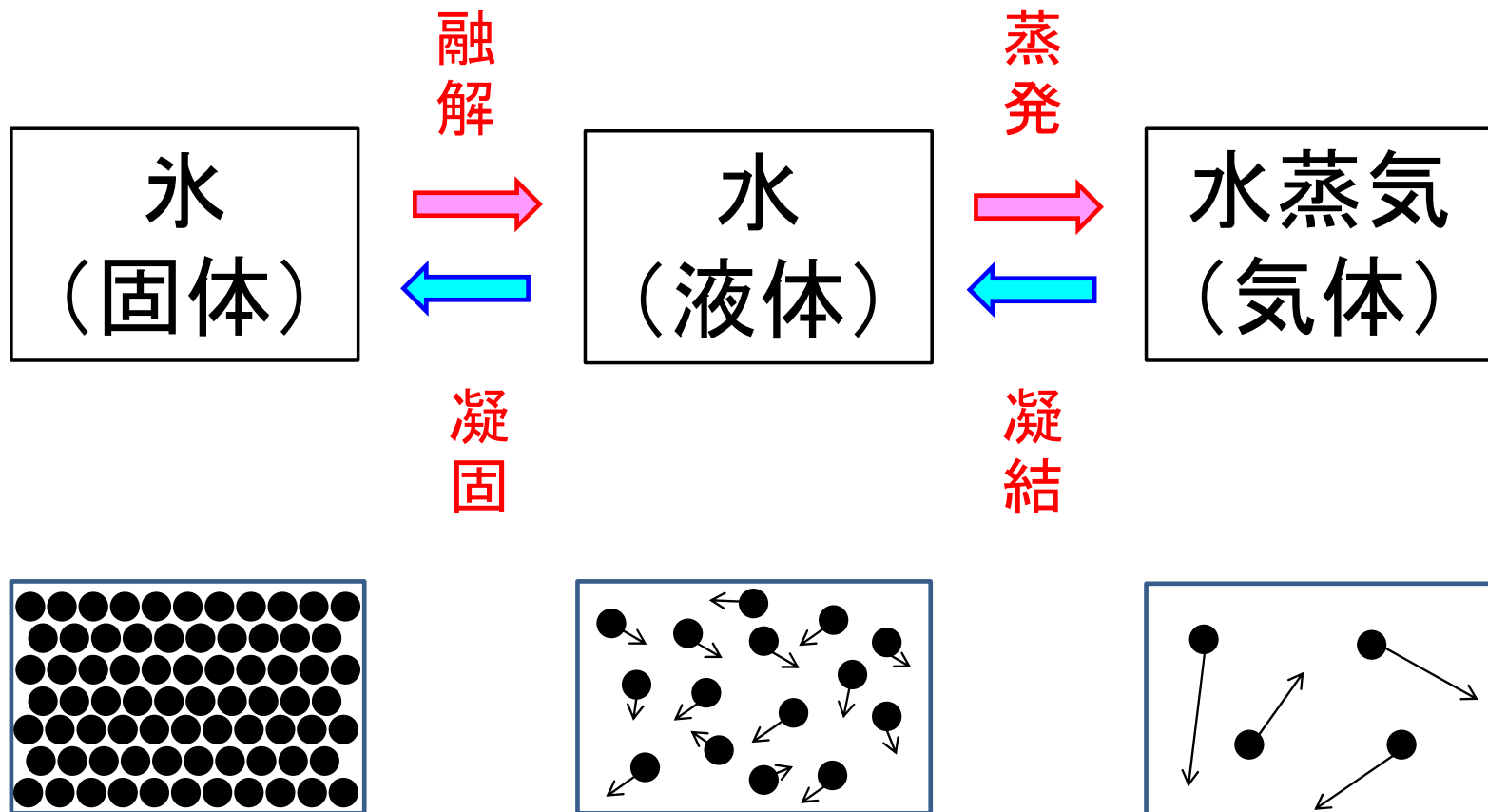
Knutson et al. (2020), "Tropical cyclones and climate change assessment Part II: Projected response to anthropogenic warming" *Bulletin of the American Meteorological Society*, **101**, E303-E322. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0194.1>

© 2020 American Meteorological Society

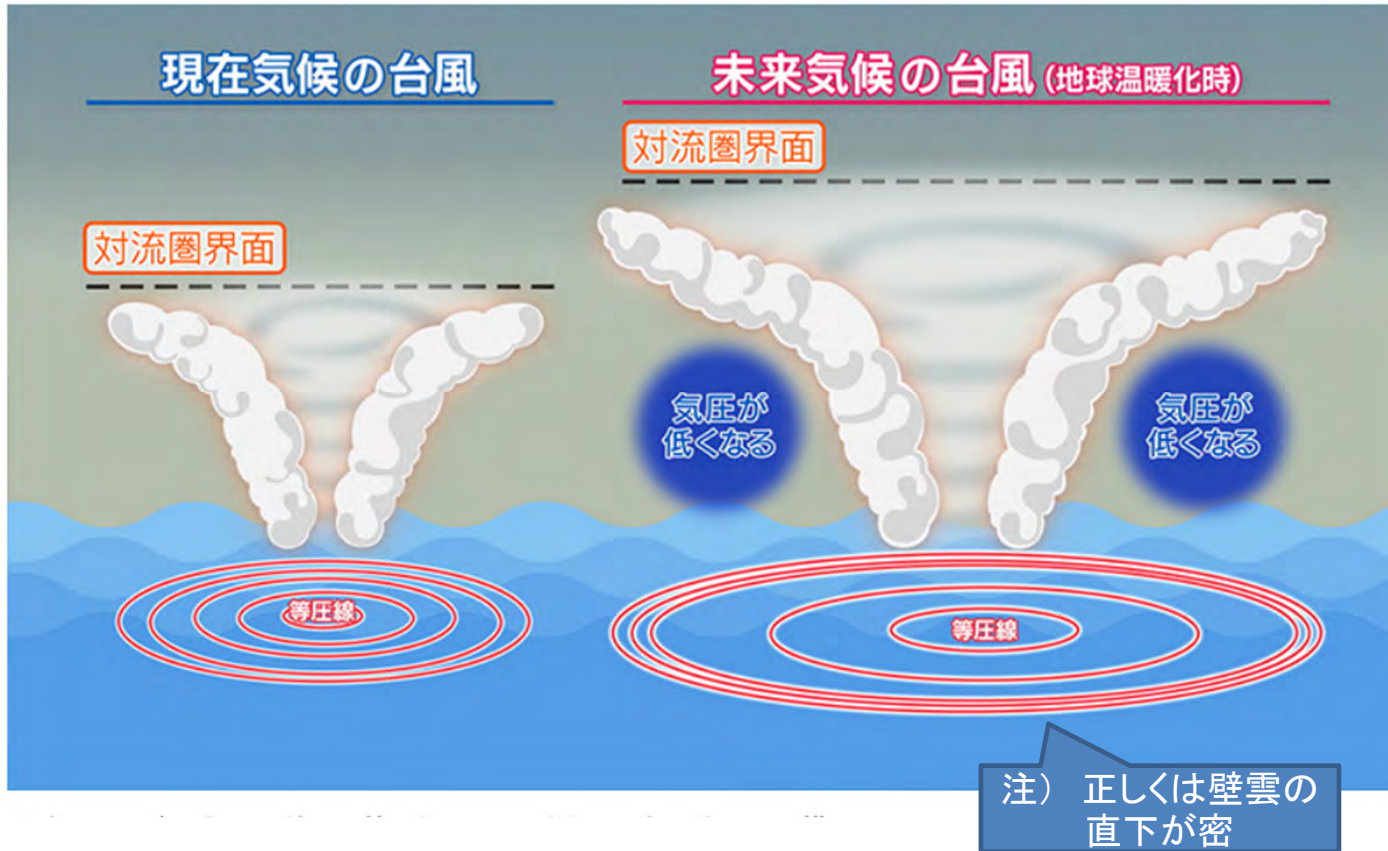


## ちなみに...

- ✓ 水の相変化に伴い、融解・蒸発は周囲の熱を奪い、凝固・凝結は周囲に熱を出す（これを潜熱と呼ぶ）
- ✓ ”温度”とは分子運動のエネルギーの”程度”を表す指標（温度が上がると、水蒸気を多く含むことができる）



# 全球雲システム解像モデルによる予測



海面水温上昇  
↓  
水蒸気量増大  
↓  
壁雲がより高く、より外側に成長  
↓  
潜熱放出で壁雲周囲を温め  
↓  
気圧の低下  
↓  
等圧線の間隔が狭い領域の拡大  
↓  
強風域の拡大

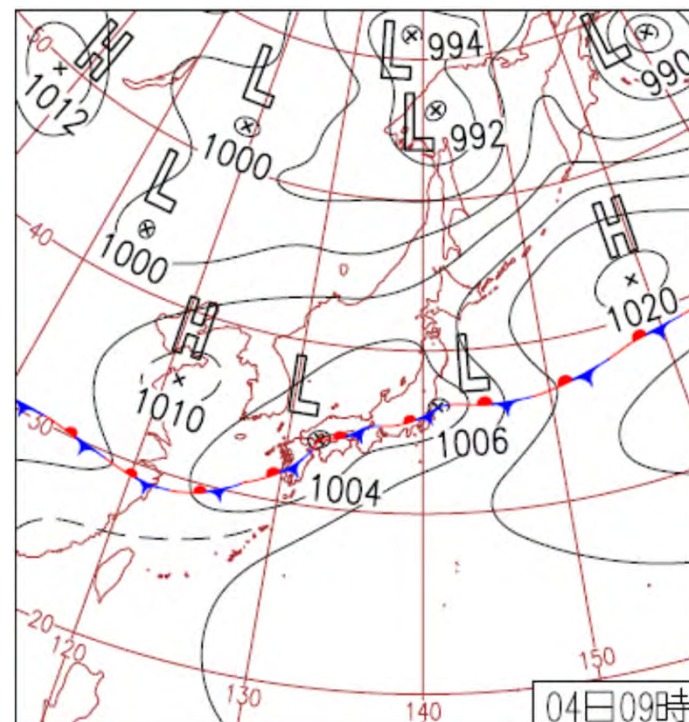
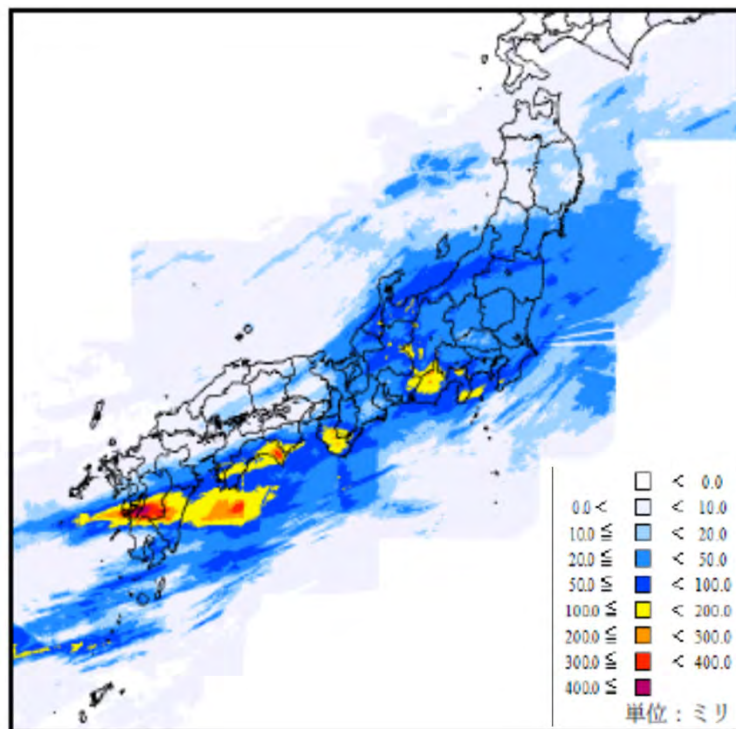
研究の出典: Yamada et al. (2017, *Journal of Climate*) ©2017 American Meteorological Society

ポンチ絵の出典: <https://www.jamstec.go.jp/j/pr/topics/global-warming-affect-typhoon/> © JAMSTEC

(注: 模式図では地球温暖化時に台風の外側で等圧線の間隔が狭まる点を“強調”した描き方になっている。)

# 梅雨期の豪雨

## 「令和2年7月豪雨」



2020年7月4日 九州(熊本・鹿児島)で観測された豪雨(線状降水帯)

出典: 気象庁HP

[https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2020/20200811/jyun\\_sokuji20200703-0731.pdf](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2020/20200811/jyun_sokuji20200703-0731.pdf)

<https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>

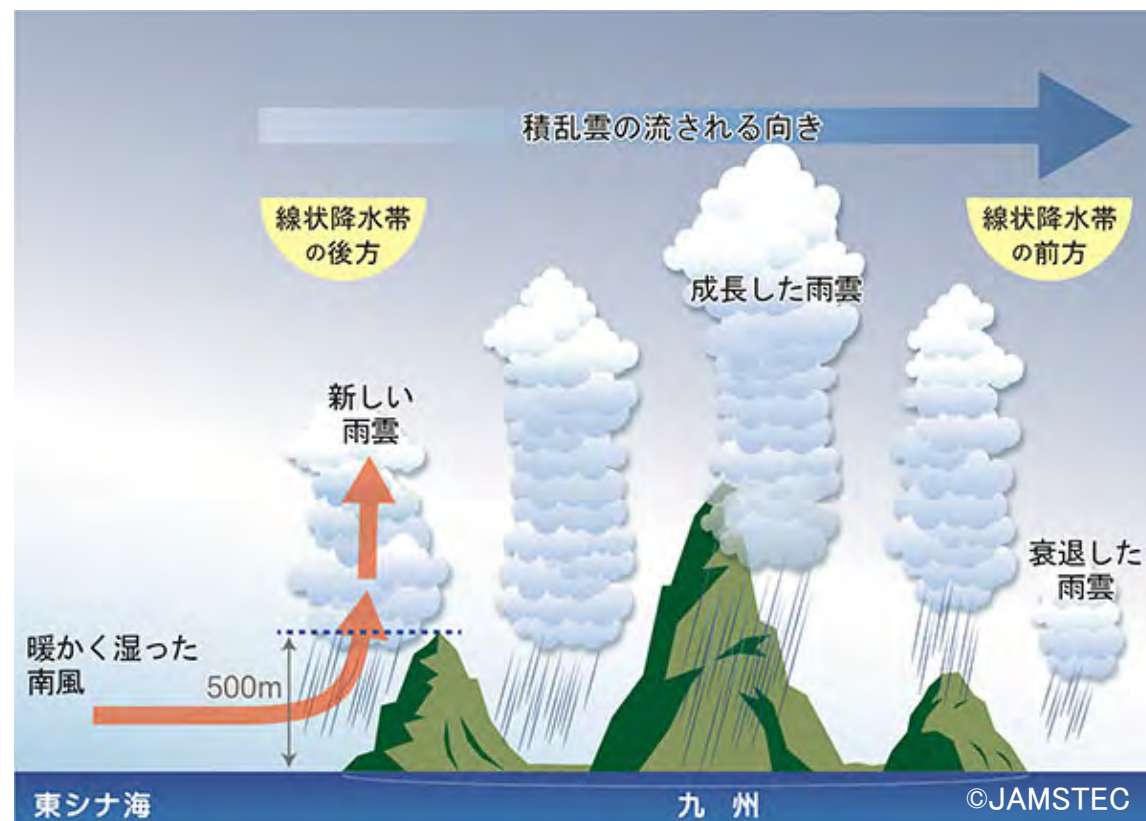
## 線状降水帯

### 気象庁の定義

「次々と発生する発達した雨雲(積乱雲)が列をなした、組織化した積乱雲群によって、数時間にわたってほぼ同じ場所を通過または停滞することで作り出される、線状に伸びる長さ50～300km程度、幅20～50km程度の強い降水を伴う雨域」

### 〈注意〉

- ✓ 移動する降水バンドとは違う。
- ✓ 定義に定量的な「強度」の指標は入っていない。気象庁の発表は災害に直結するものを指す。

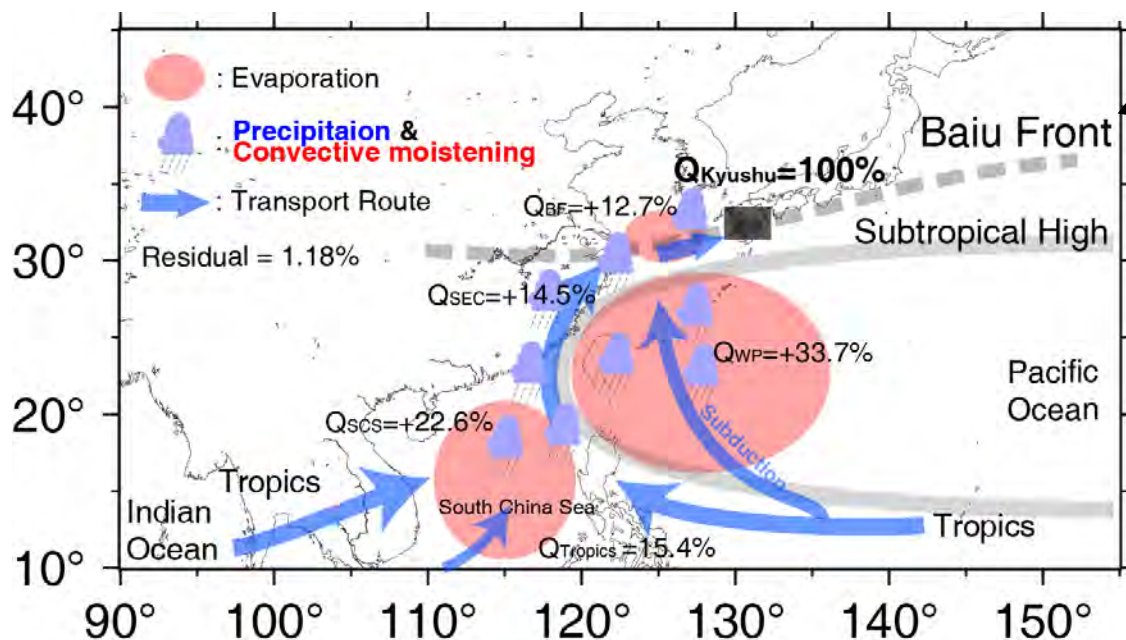


線状降水帯を構成する積乱雲の列が維持されるメカニズムの1つ、バックビルディング(後方形成)の模式図。

(JAMSTEC 茂木耕作氏 提供)

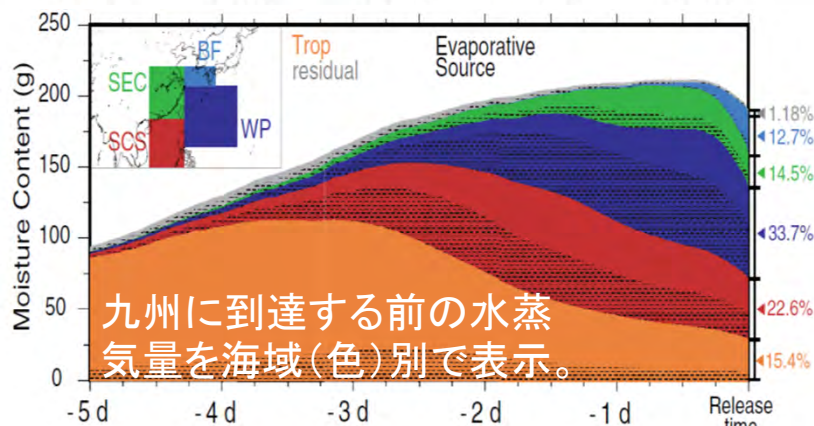
[https://www.jamstec.go.jp/j/jamstec\\_news/20170823/](https://www.jamstec.go.jp/j/jamstec_news/20170823/)

# 「令和2年7月豪雨」で九州に雨をもたらした水蒸気の起源



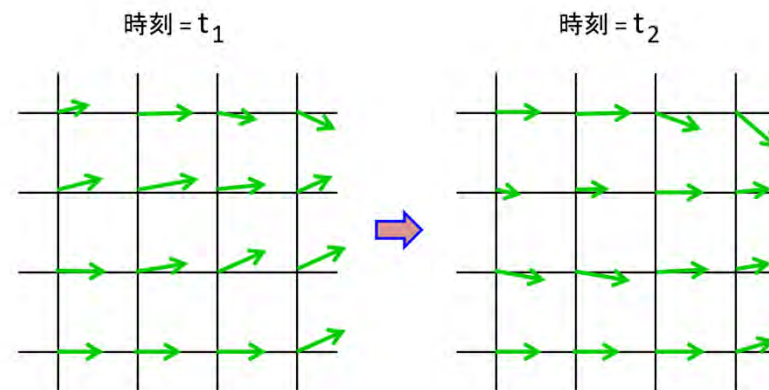
九州上空に入り込んだ水蒸気量を100とした場合の、水蒸気起源をパーセント表示したもの。

太平洋高気圧の縁を通して南から暖かい湿った空気が流入する。しかし、後方流跡線解析によると、熱帯からの水蒸気の一部は途中で雨となって降ってしまい減少する。このため、東シナ海からの水蒸気の供給が激しい雨の維持には必要。



Zhao et al. (2021, *Geophysical Research Letters*) ©JAMSTEC

<https://doi.org/10.1029/2020GL091441>



流跡線解析 ... 座標上の風向・風速データを用いて、時間を遡って(後方)もしくは進めて(前方)位置を決める手法。

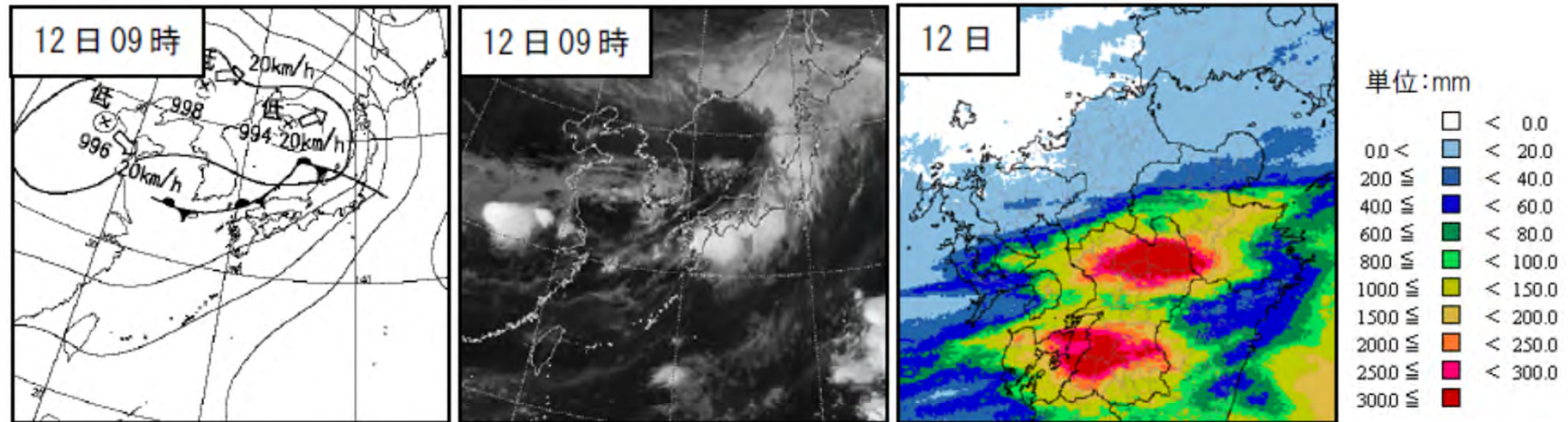
# 地球温暖化で豪雨は増えるのか？

## 平成24年7月九州北部豪雨

7月11日から14日かけて、福岡県、熊本県、大分県、佐賀県で大雨となった事例で、4日間の総降水量が、福岡県筑後地方、熊本県阿蘇地方、大分県西部で500ミリを超えた観測所が5地点あった。

### 災害状況

死者30名、行方不明者3名、負傷者34名、住家全壊276棟、半壊2,306棟、一部損壊192棟、床上浸水2,574棟、床下浸水8,409棟など（消防白書より）

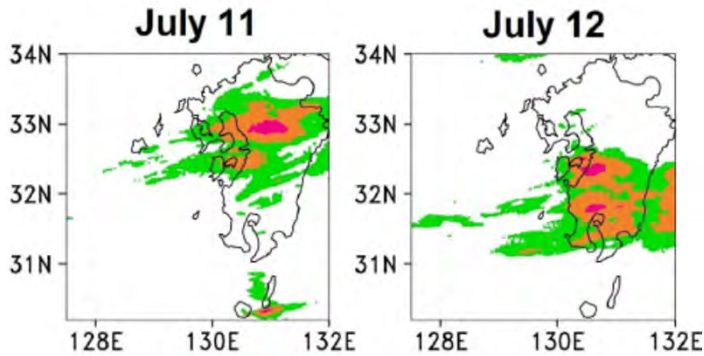


出典：災害時気象速報－平成24年7月九州北部豪雨－  
平成24年7月31日 福岡管区气象台 発表資料

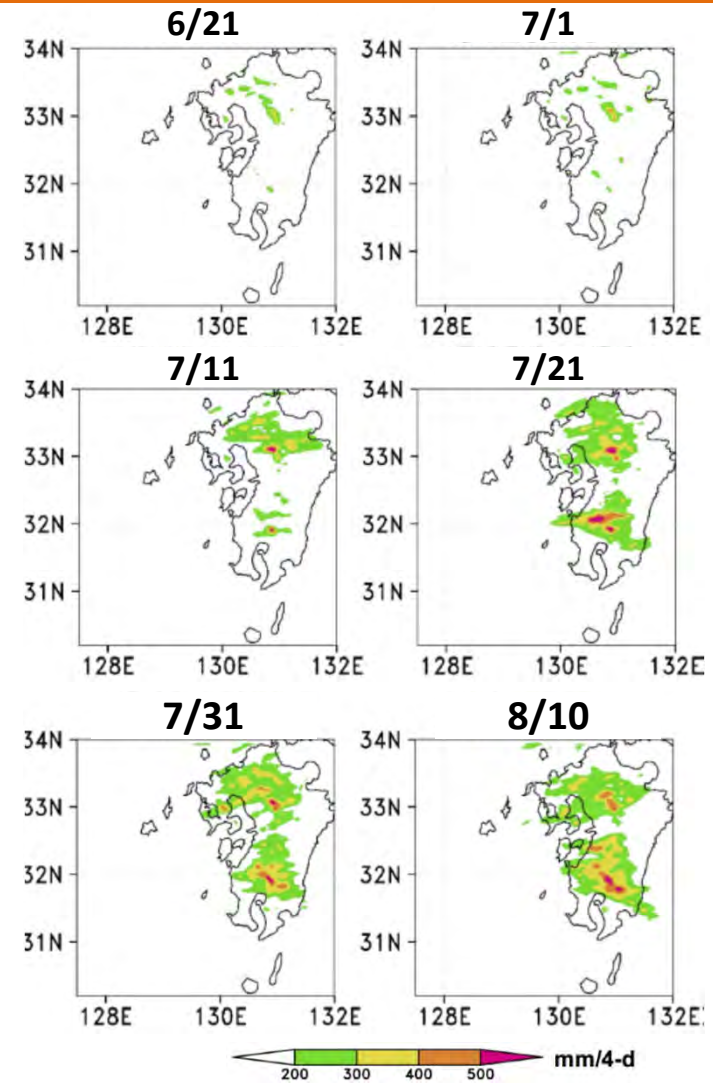
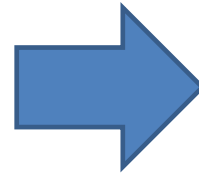
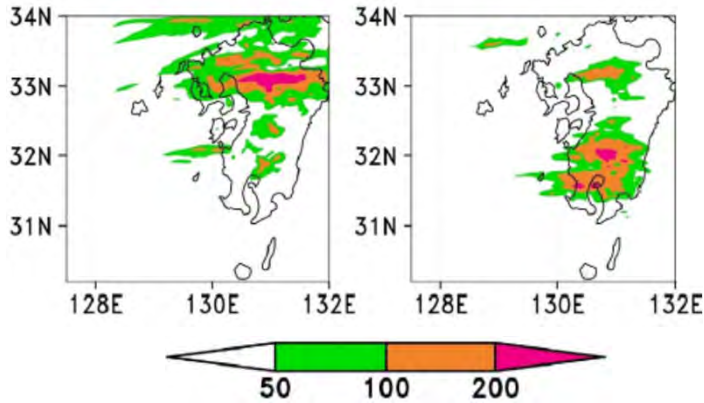
[https://www.jma-net.go.jp/fukuoka/chosa/kisho\\_saigai/20120711-14.pdf](https://www.jma-net.go.jp/fukuoka/chosa/kisho_saigai/20120711-14.pdf)

# 地球温暖化で豪雨は増えるのか？

観測



モデル



左図) 数値モデルを使い、観測と同じ結果ができることを確認。  
右図) 同じモデルを使い、海面水温のデータだけ、図に示した時期の気候値(10日平均)を使い、他は同じ条件で計算した結果(雨量は4日当りに換算)。

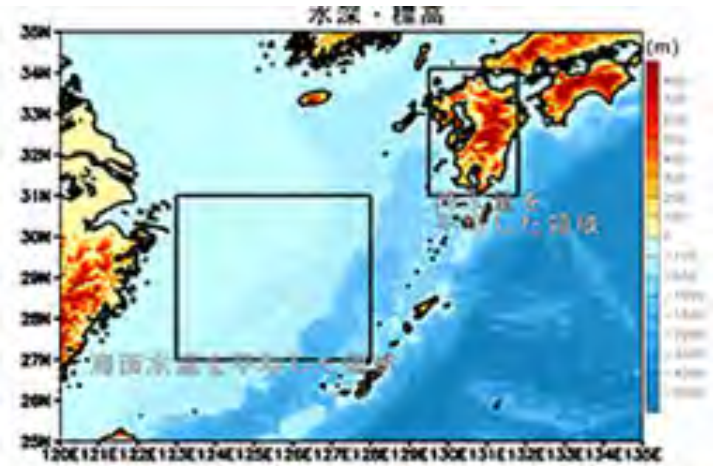
→ 7/11-14の豪雨は気候学的には7月下旬の環境下と一致

Manda, A. et al. Impacts of a warming marginal sea on torrential rainfall organized under the Asian summer monsoon. *Sci. Rep.* 4, 5741; DOI:10.1038/srep05741 (2014).



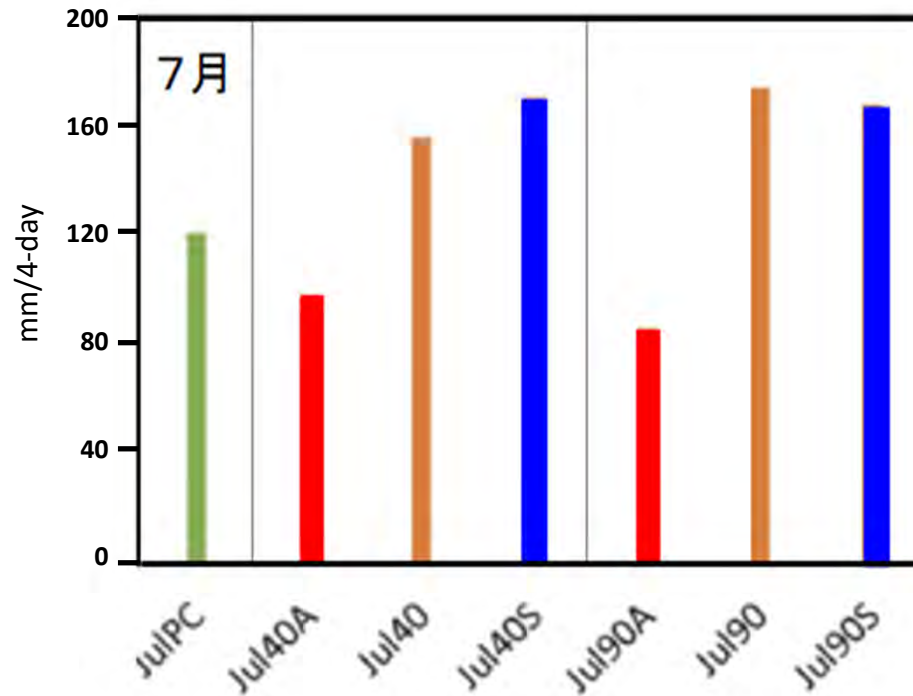
# 地球温暖化で豪雨は増えるのか？

東シナ海の温暖化に伴う九州の降水量へのインパクト (Manda et al. 2014)



計算領域

東シナ海の四角は海面水温、  
九州の四角は4日間の平均降水量  
を計算するのに用いた範囲を示す。



右図) 再現実験を、現在気候(PC)、2040年代(40)、2090年代(90)の温暖化予測結果を条件に用いて行った九州領域の4日間の平均降水量。緑色は7月の現在気候の結果。オレンジで示した値は計算に用いた32種類のモデルの平均値。S(青)は海面水温だけ、A(赤)は気温の鉛直分布だけ置き換えて、計算した結果であることを示す。

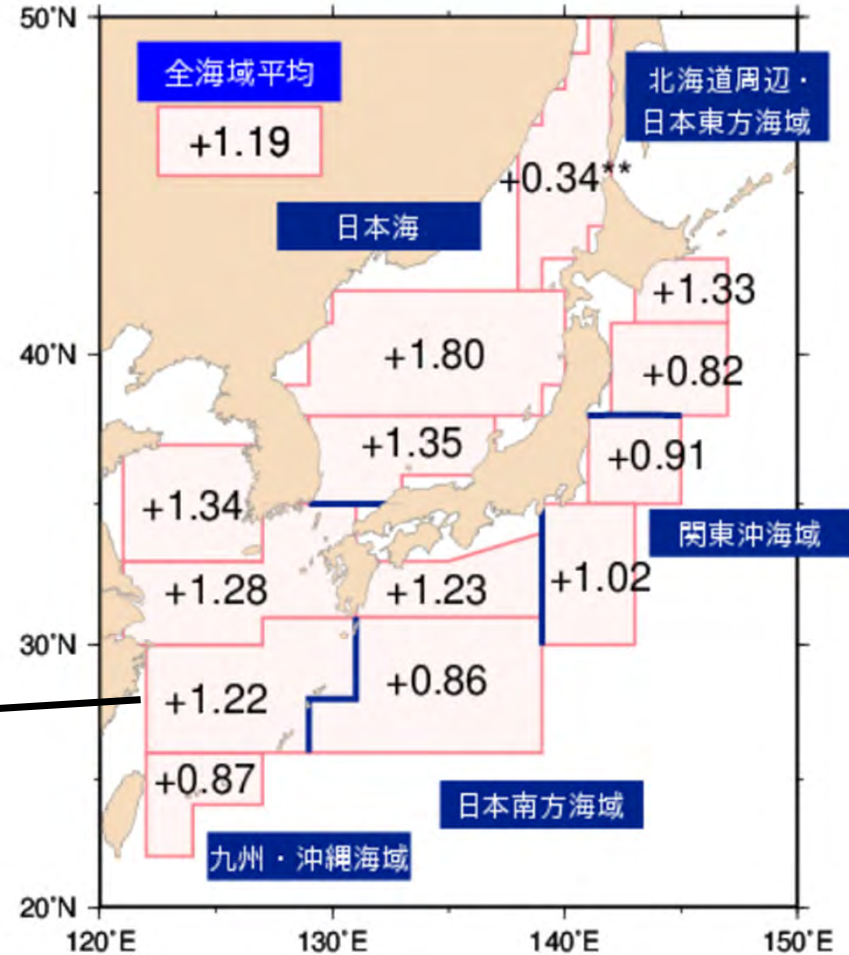
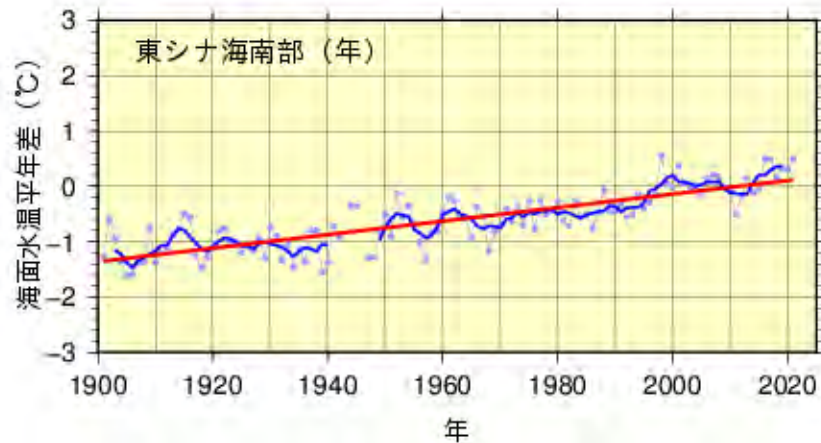
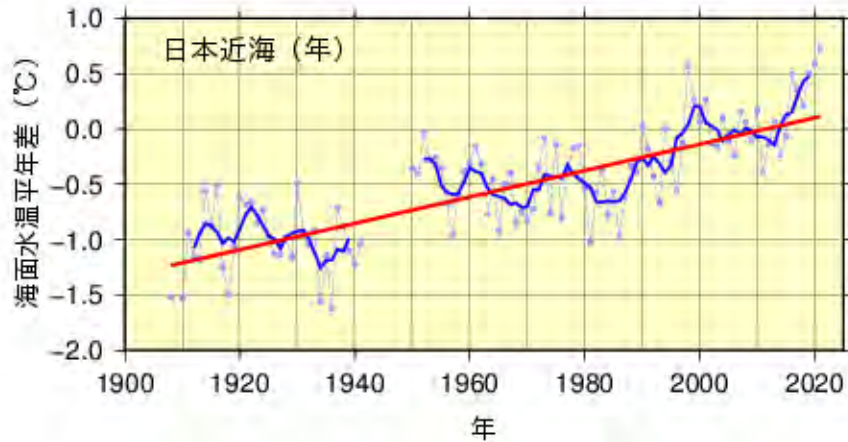
注) Manda et al. (2014, Sci. Rep.) から説明部分だけを抜き出し、色塗りの加筆を行った。



Manda, A. et al. Impacts of a warming marginal sea on torrential rainfall organized under the Asian summer monsoon. *Sci. Rep.* 4, 5741; DOI:10.1038/srep05741 (2014).

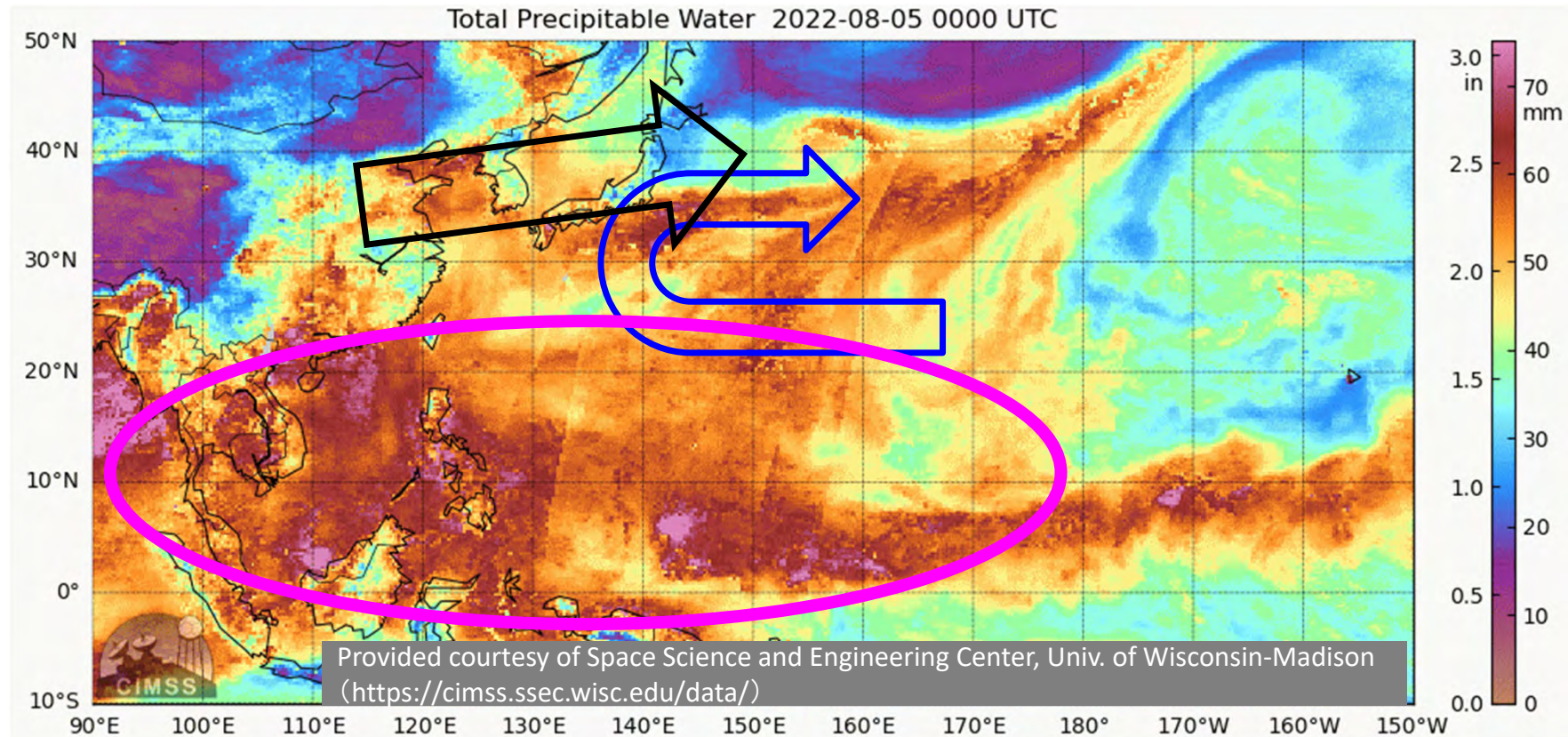


# 日本近海の海面水温の長期変動（気象庁HPより）



出典：気象庁 [https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/a\\_1/japan\\_warm/japan\\_warm.html](https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html)

## 人工衛星で捉えた「雨」の元となる「水蒸気」の流れ



2022年8月5日午前9時から8月17日午前9時まで、暖色が水蒸気が多い場所を示す。  
東北や北海道を襲った豪雨や、8月13日に静岡県に上陸した台風8号に伴う動きが確認できる。

## 「海洋大気の相互作用が招く気候変動」

海洋研究開発機構 (JAMSTEC)

地球環境部門 大気海洋相互作用研究センター

米山 邦夫

- 1) 自己紹介
- 2) 日本に豪雨災害をもたらす台風・線状降水帯
- 3) **全球大気大循環と熱帯の役割**
- 4) 異常気象をもたらす様々な現象

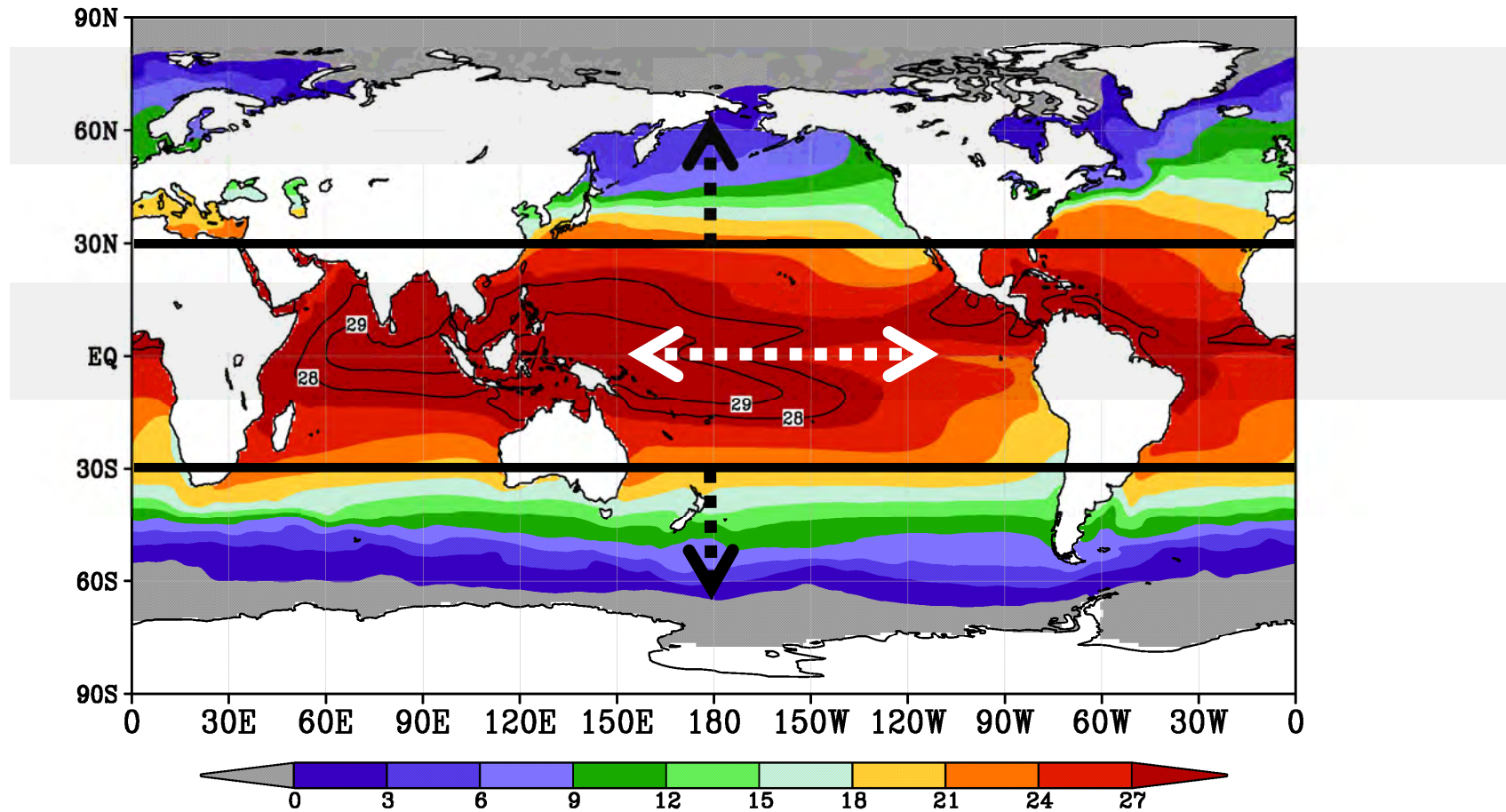
- ✓ 地球上を流れる大気の動きを概説（次の話を理解するために必要な知識）
- ✓ 熱帯で起きている現象の話をするため、そもそも「熱帯」とは何かを知ってもらう

「インド洋-太平洋振動 (IPO)」

- 5) 最新の国内・国際動向

# 海面水温分布

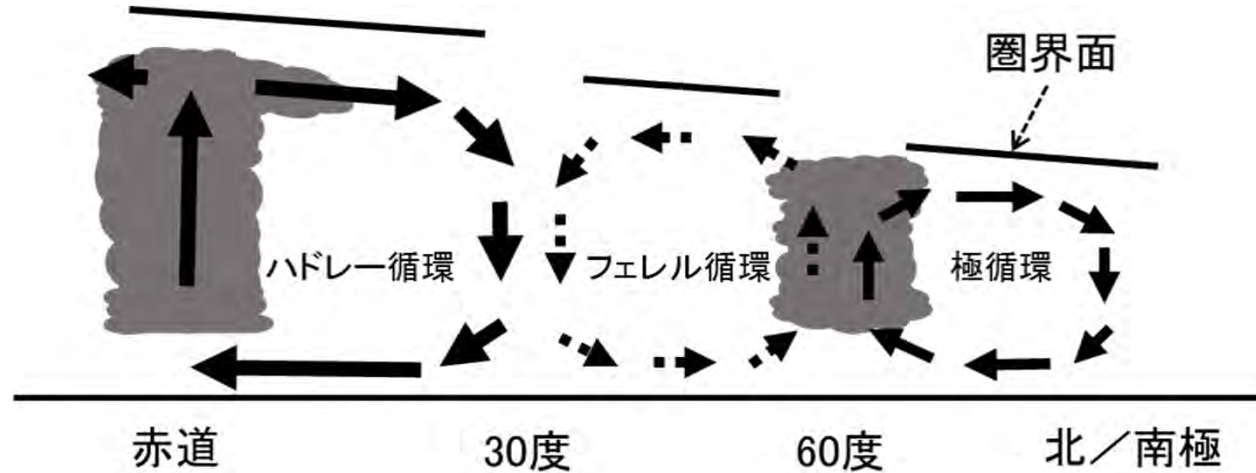
1993年から2012年までの20年間を平均した海面水温分布



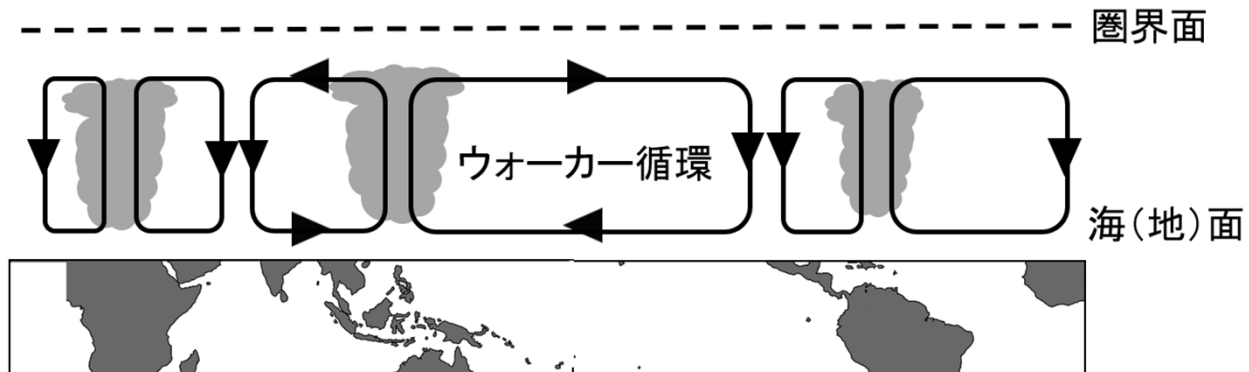
米国海洋大気庁作成データ(NOAA OISST Ver.2)使用

# 大気大循環（地球を巡る主な大気の流れ）

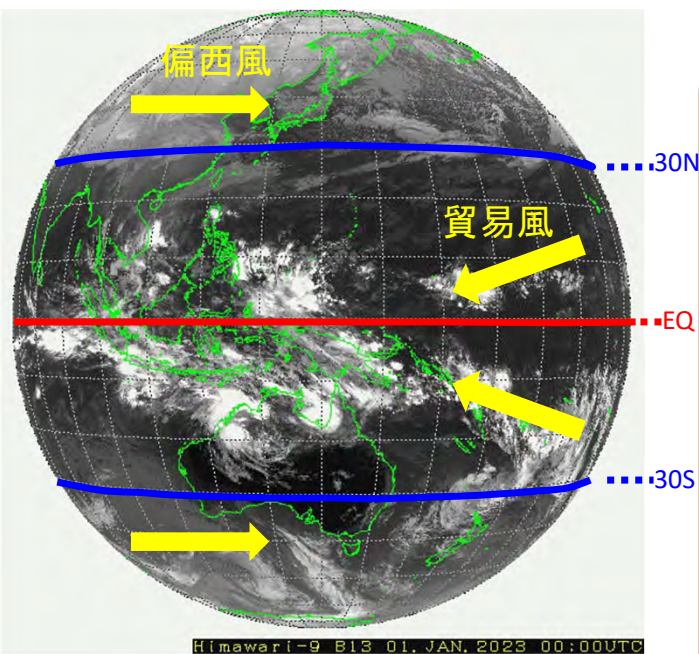
## 南北(子午面)循環



## 赤道上空の東西循環

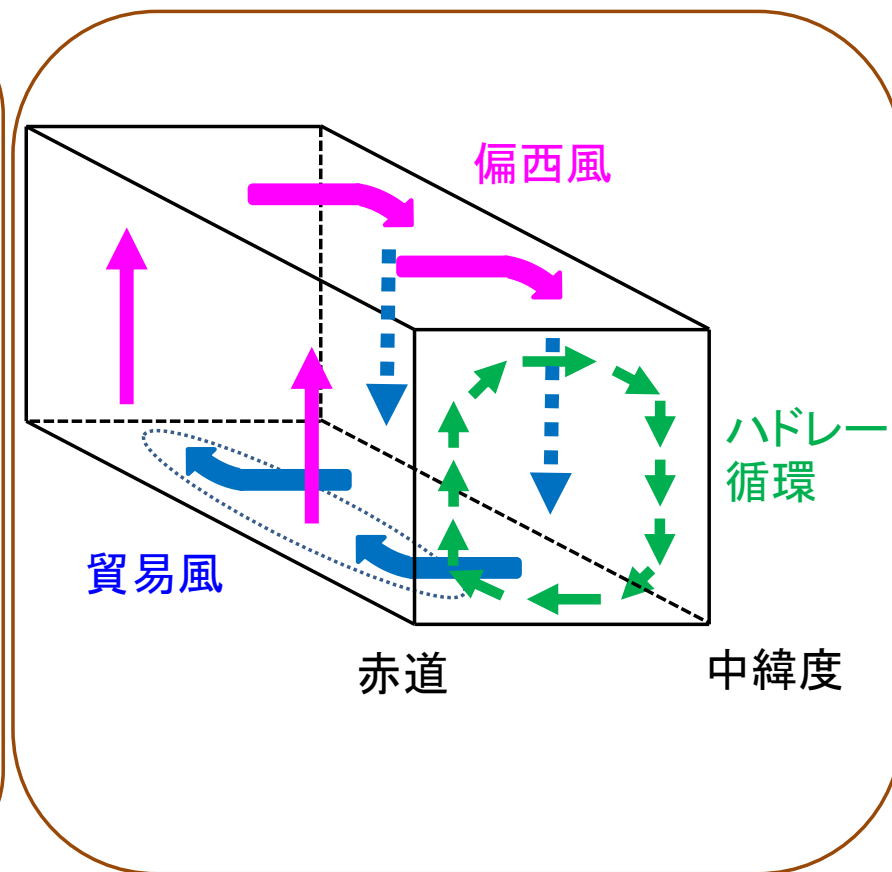
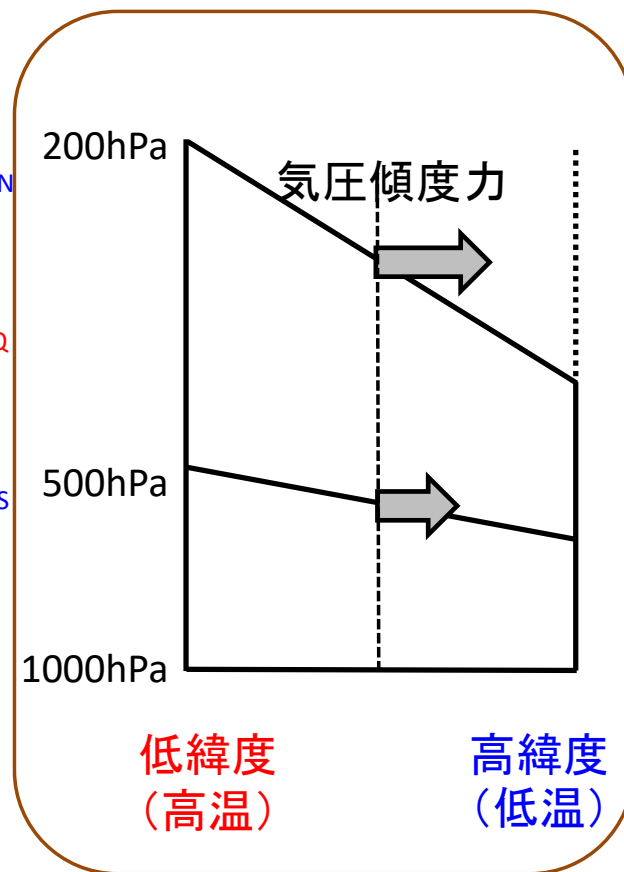


# 温度風の関係と偏西風 & ハドレー循環と貿易風



ひまわり雲画像(気象庁)

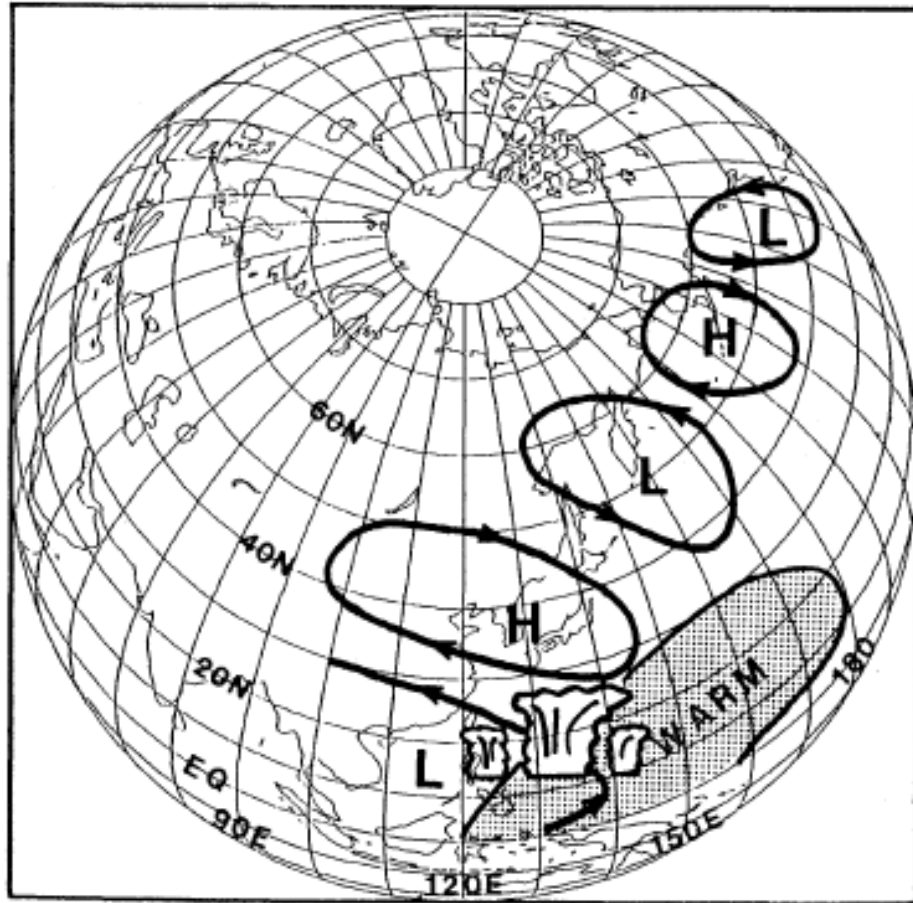
<https://www.data.jma.go.jp/mscweb/data/himawari/>



注) 地球の自転のため、動いているものに対して北(南)半球では向かって右(左)に曲がる見かけの力が働き、それを“コリオリ力”と呼ぶ

# テレコネクション

Pacific-Japan (PJ) pattern



Nitta (1987) *Journal of the Meteorological Society of Japan* ©日本気象学会

遠く離れた場所で、ある因子が相関関係(1つが増えるともう一方も増える、もしくは逆に減る)を持つ現象・関係を「テレコネクション」と呼ぶ。

< 伝搬のイメージ >

テレコネクションの多くは気圧場の変化を通して行われる。実際には現象の時空間スケール、地球の自転(とその効果が緯度によって変化する2次的な効果を含む)、他の現象との干渉などにより様子が決まる。

< 左図 >

北半球夏季にフィリピン近海で積雲対流活動が活発なとき、日本付近は高気圧に覆われやすく、また気圧の正負繰り返しのパターンは北米にまで伝搬することが知られている。

## 「海洋大気の相互作用が招く気候変動」

海洋研究開発機構 (JAMSTEC)

地球環境部門 大気海洋相互作用研究センター

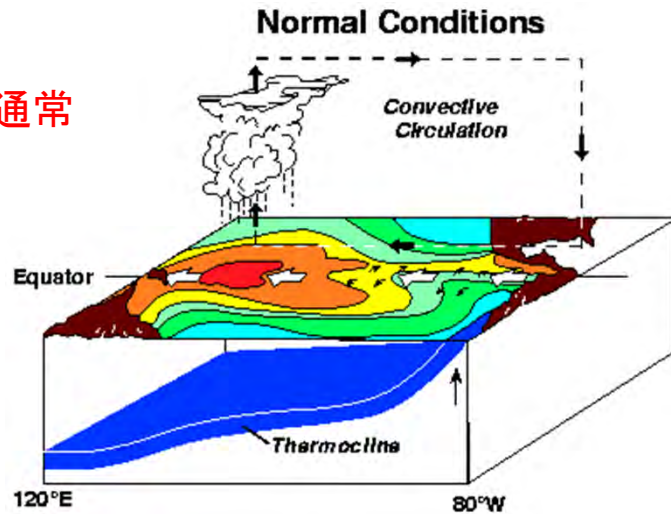
米山 邦夫

- 1) 自己紹介
- 2) 日本に豪雨災害をもたらす台風・線状降水帯
- 3) 全球大気大循環と熱帯の役割
- 4) 異常気象を引き起こす様々な現象
  - ・ エルニーニョ・南方振動現象 (ENSO)
  - ・ インド洋ダイポールモード現象 (IOD)
  - ・ マッデン・ジュリアン振動 (MJO)
- 5) 最新の国内・国際動向

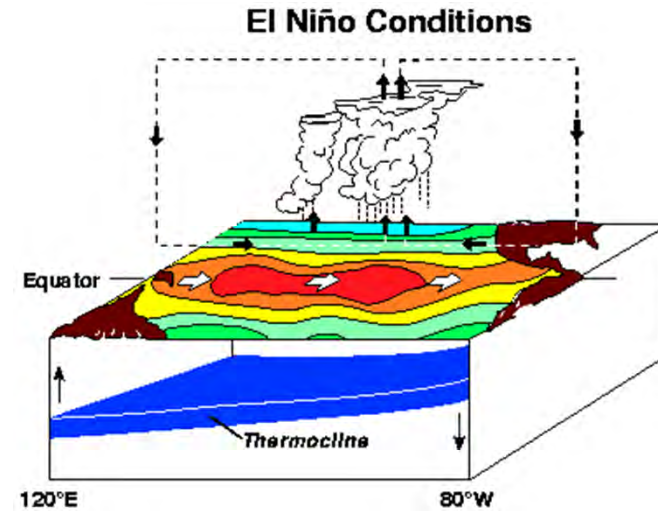


# エルニーニョ・ラニーニャ現象

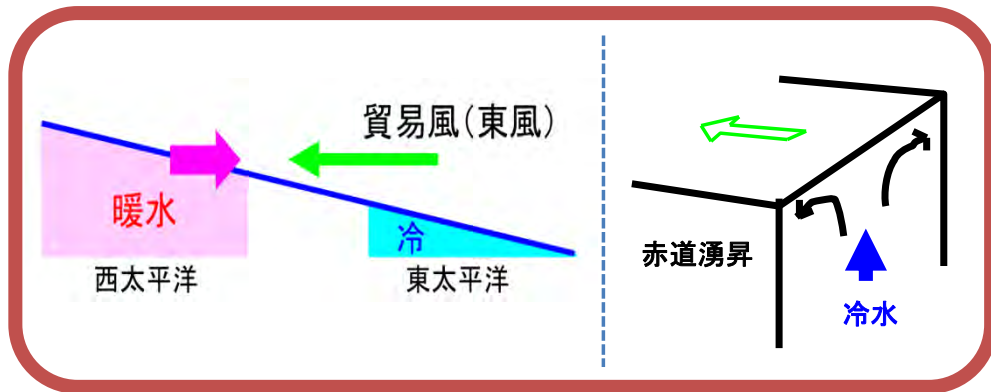
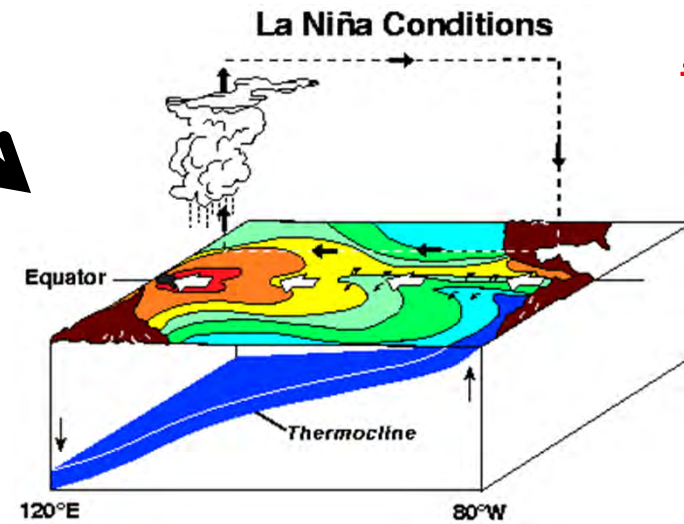
通常



エルニーニョ

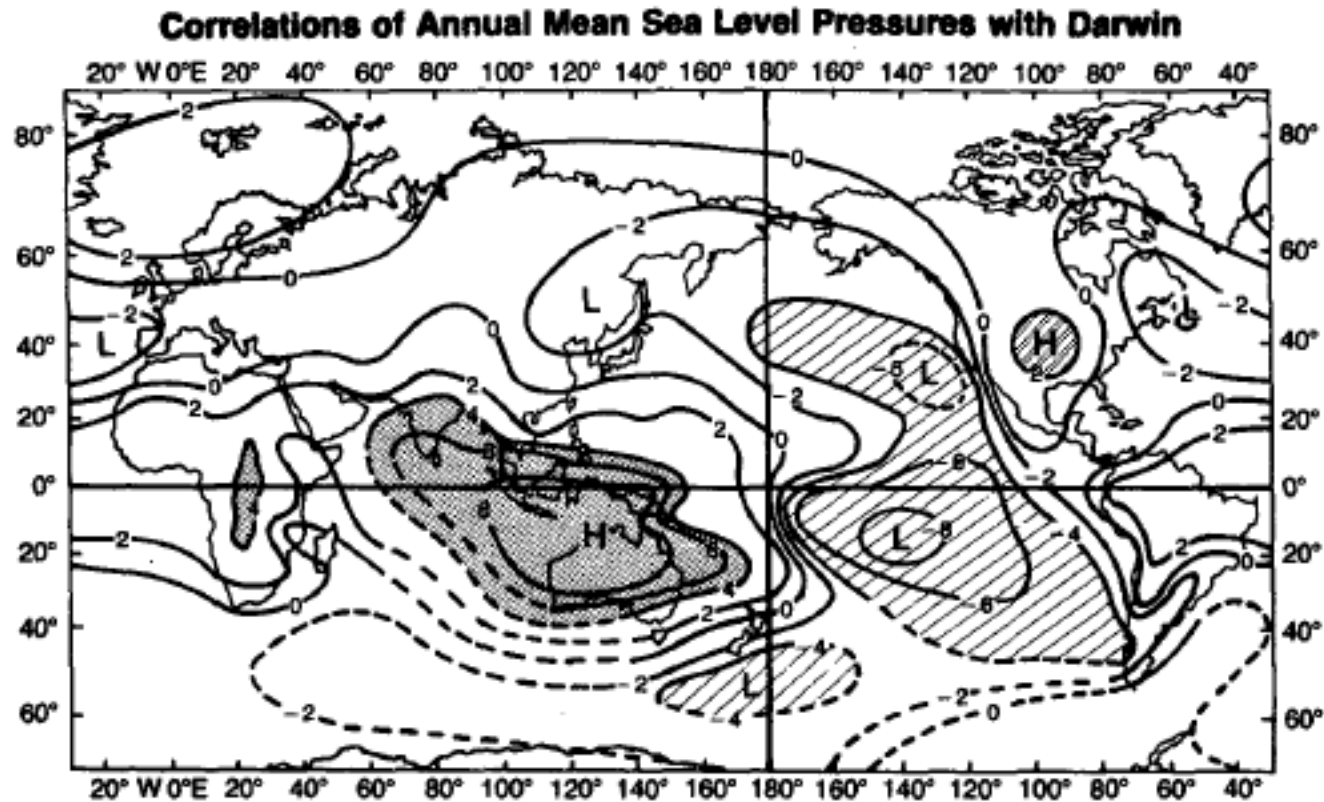


ラニーニャ



出典: NOAA/PMEL <https://www.pmel.noaa.gov/elnino/>

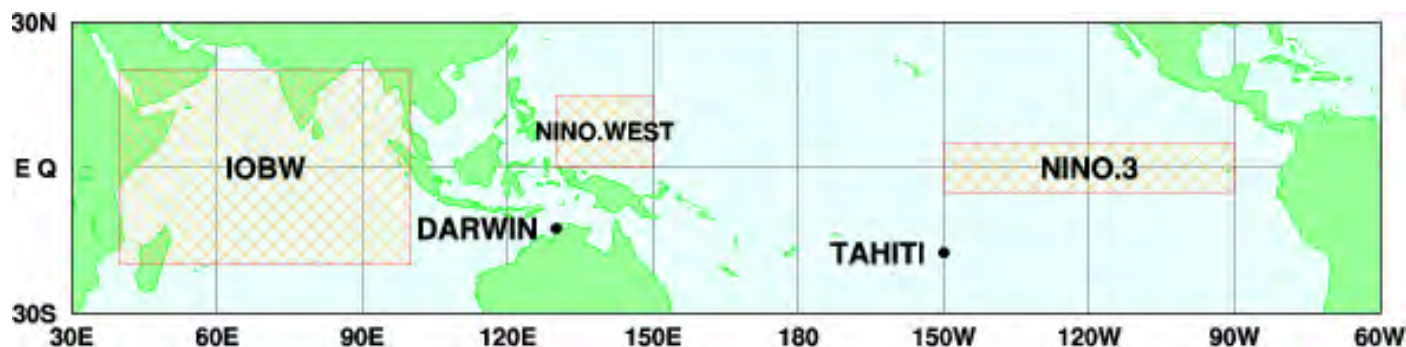
# 南方振動



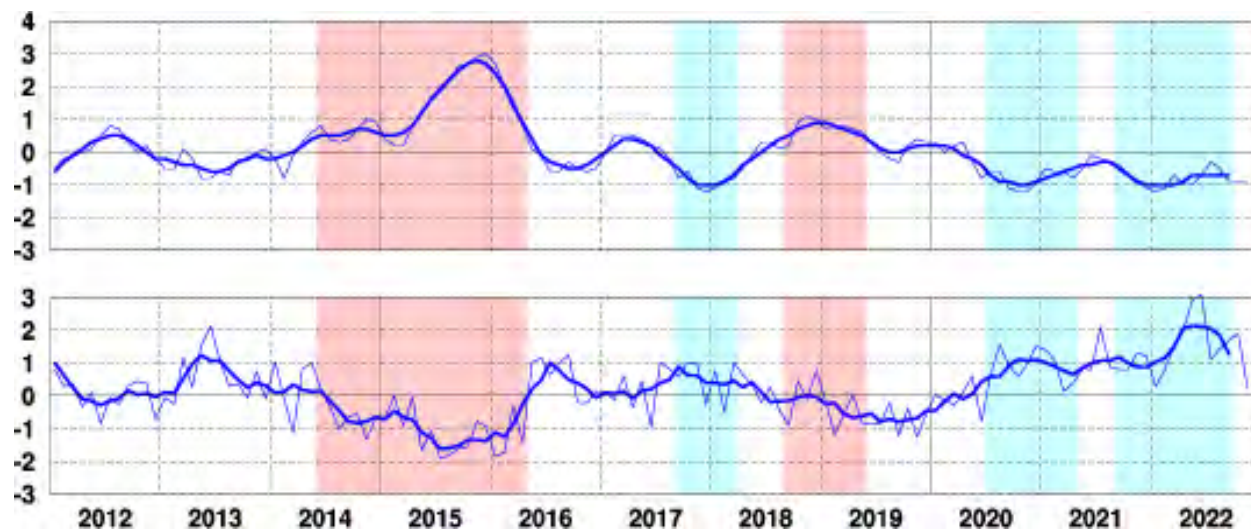
海面気圧年平均値のオーストラリア・ダーウィンとの相関

出典：Trenberth & Shea (1987) "On the evolution of the Southern Oscillation" *Monthly Weather Review*, **115**, 3078-3096.  
[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1987\)115%3C3078:OTEOTS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115%3C3078:OTEOTS%3E2.0.CO;2) ©1987 American Meteorological Society

# 気象庁によるエルニーニョ監視活動



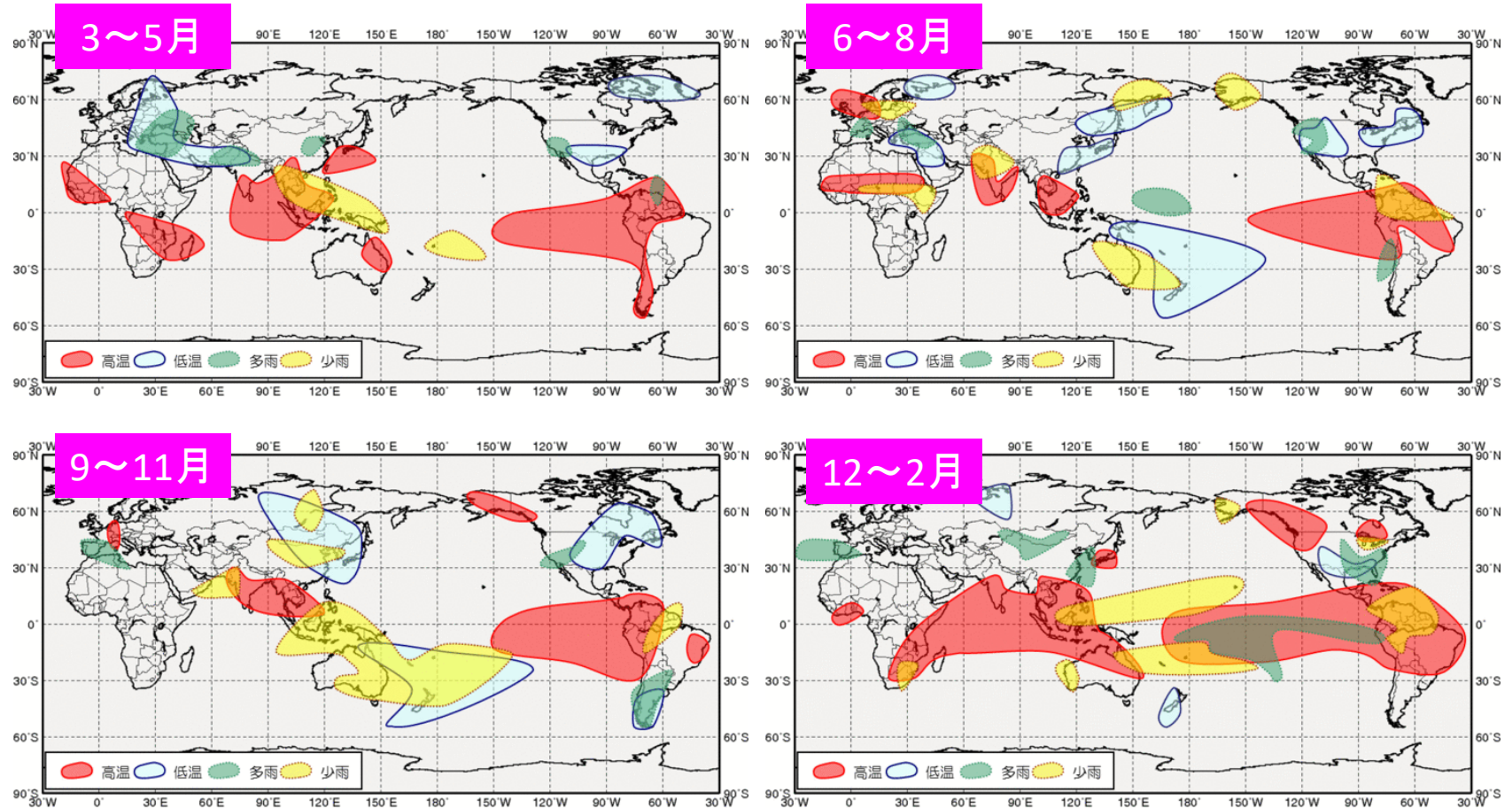
監視海域Nino.3における海面水温の基準値(過去30年間の平均)からの偏差



南方振動指数  
ダーウィンとタヒチの気圧差から定義する指標

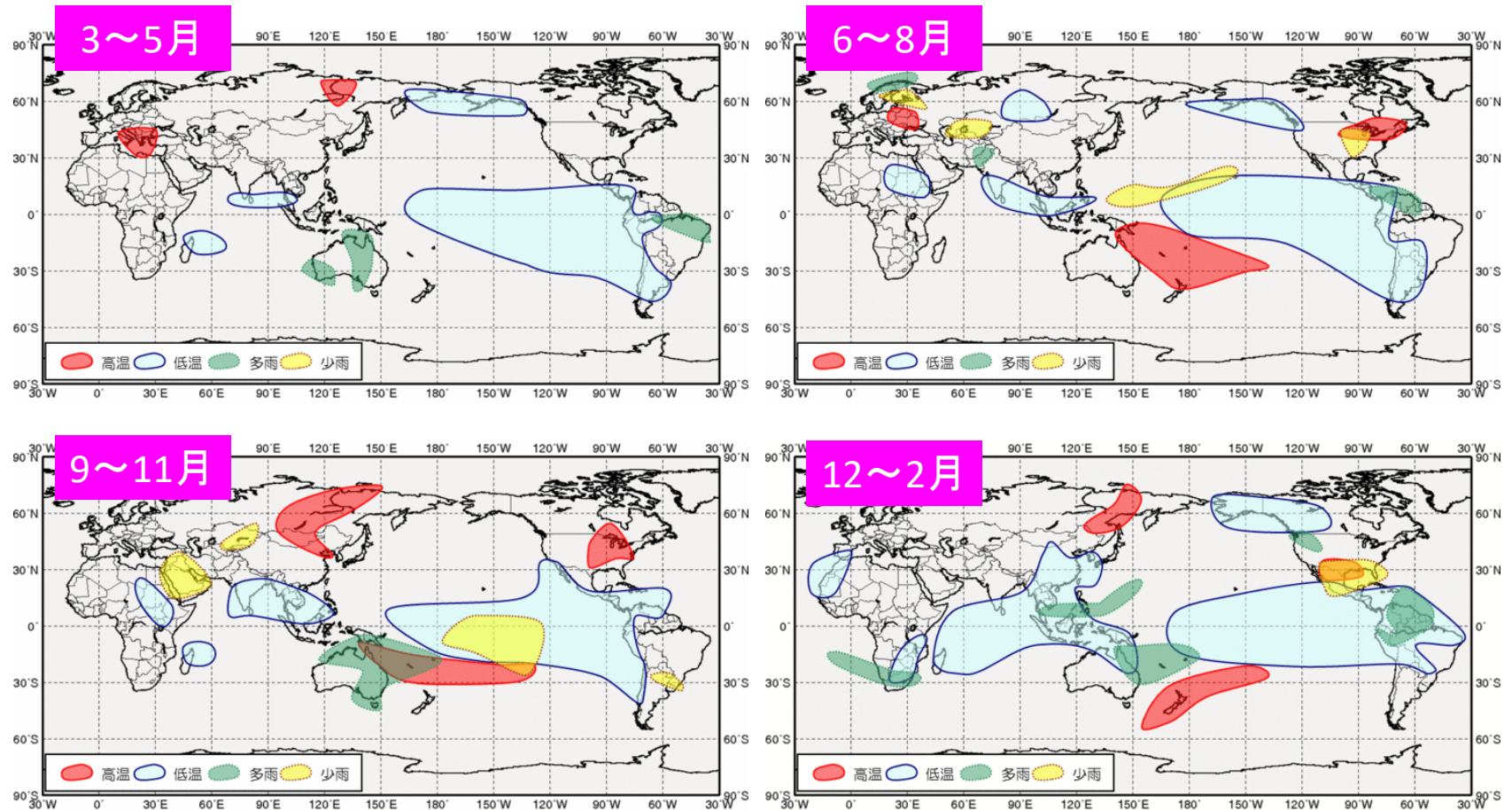
出典: 気象庁 (<https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/data/elnino/index/datab.html>)

# エルニーニョ現象による世界の天候への影響



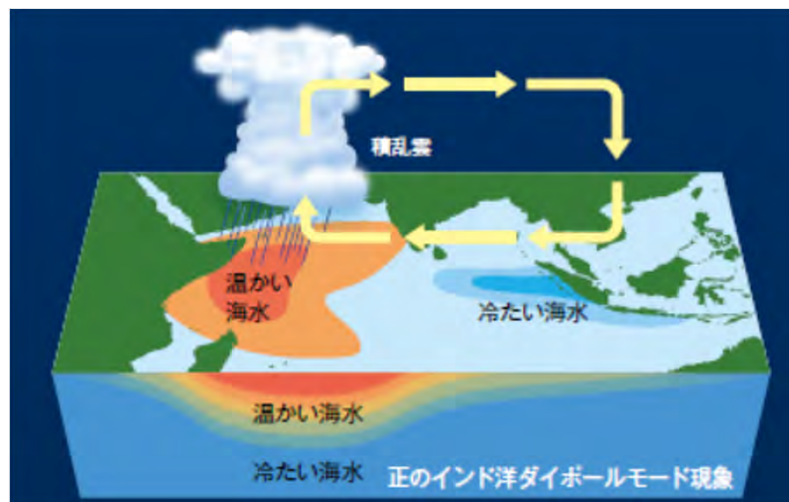
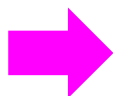
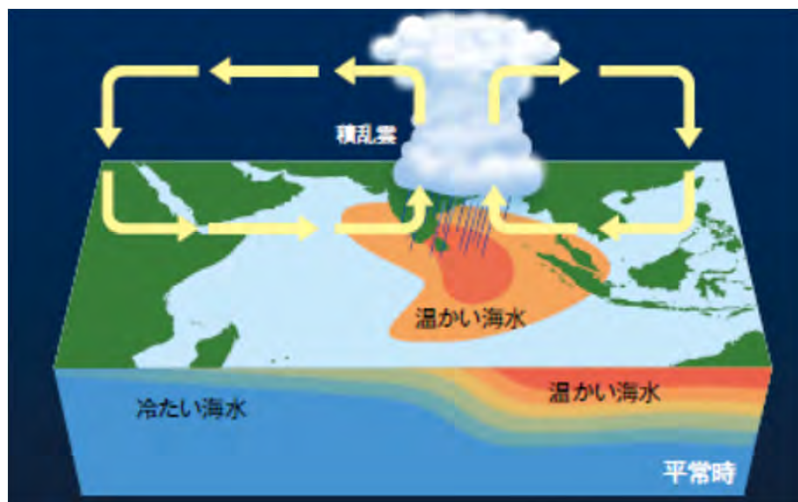
出典: 気象庁 (<https://www.data.jma.go.jp/cpd/data/elnino/learning/tenkou/sekai1.html>)

# ラニーニャ現象による世界の天候への影響

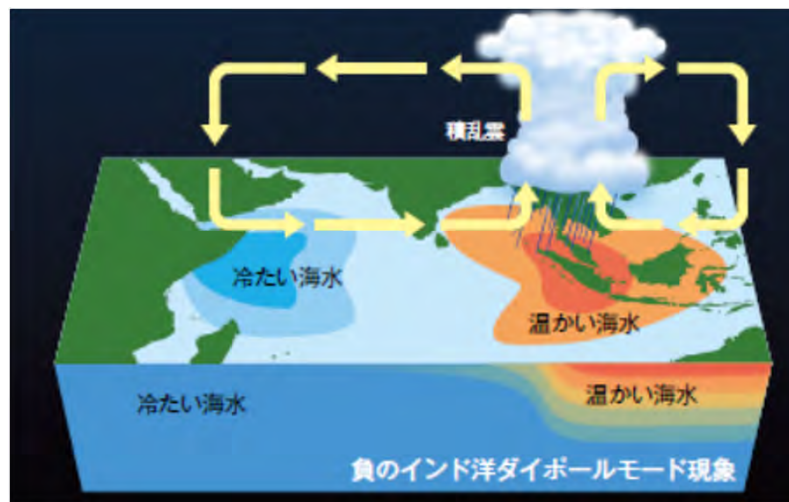


出典: 気象庁 (<https://www.data.jma.go.jp/cpd/data/elnino/learning/tenkou/sekai2.html>)

# インド洋ダイポールモード現象 (Indian Ocean Dipole)



東アフリカで豪雨、  
インドネシアで旱魃  
になりやすい

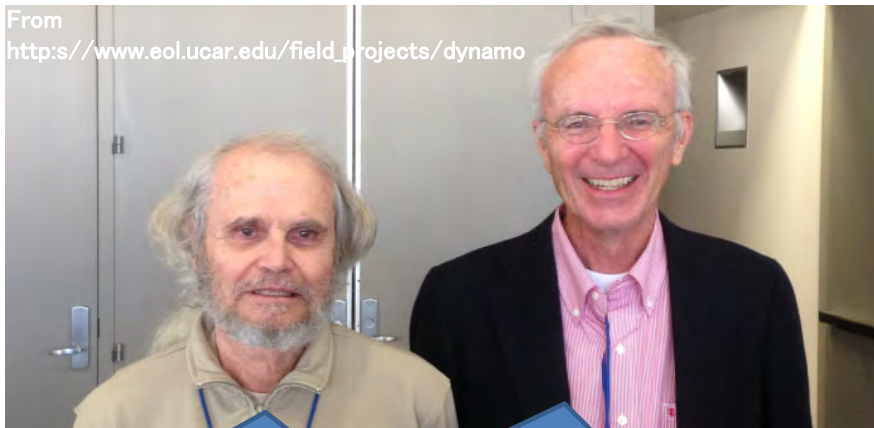


インドネシアで豪雨  
が起きやすい

出典: JAMSTEC/APL ©JAMSTEC  
Blue Earth 152号 (2017年12月号)

[https://www.godac.jamstec.go.jp/doc\\_catalog/external/metadata/be152\\_all/file/be152\\_all.pdf](https://www.godac.jamstec.go.jp/doc_catalog/external/metadata/be152_all/file/be152_all.pdf)

# マッデン・ジュリアン振動 (Madden-Julian Oscillation: MJO)

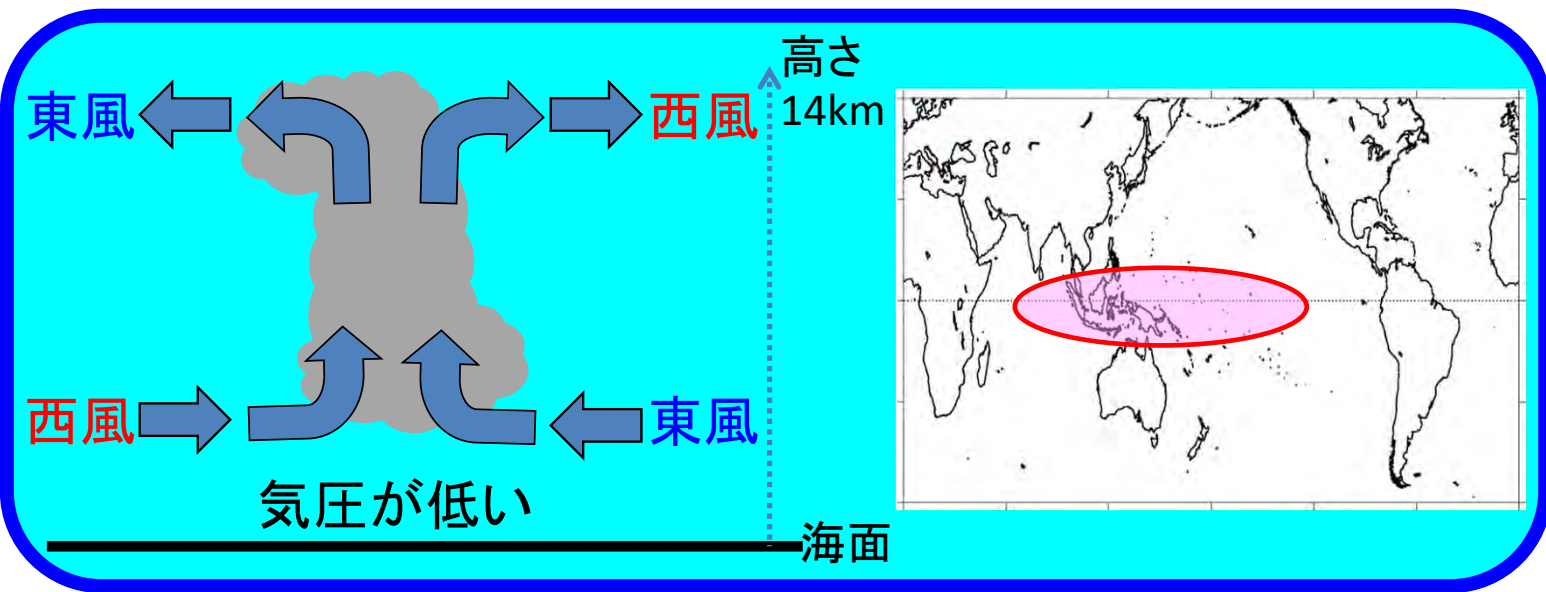
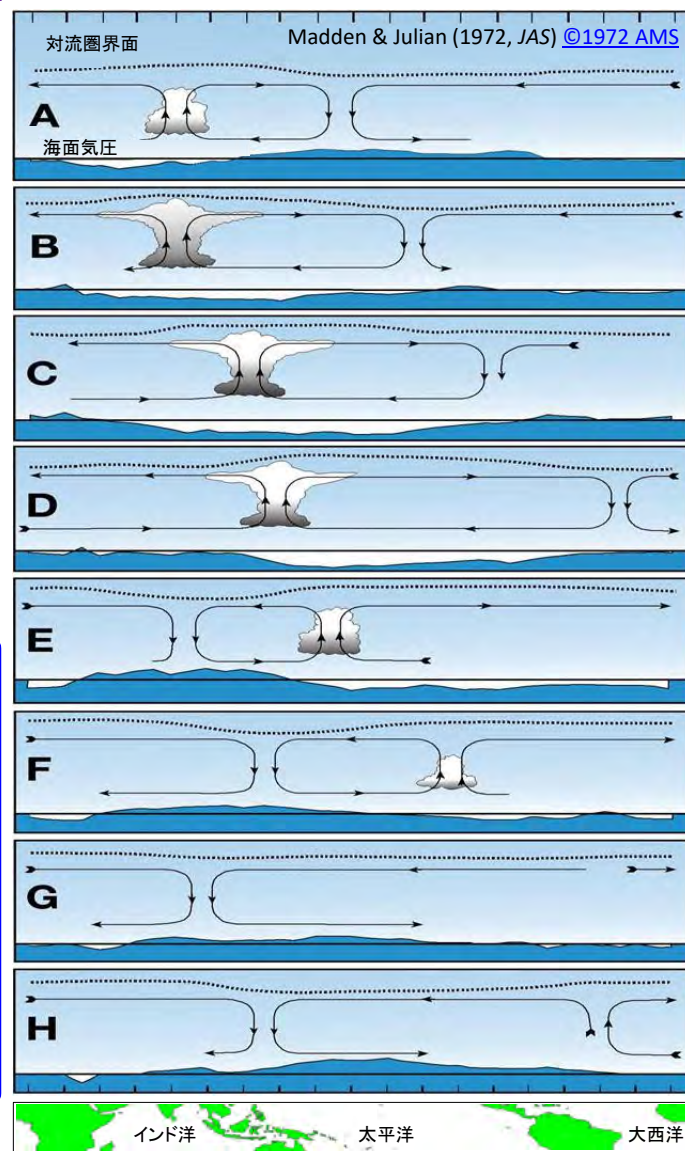


Paul R. Julian

Roland A. Madden

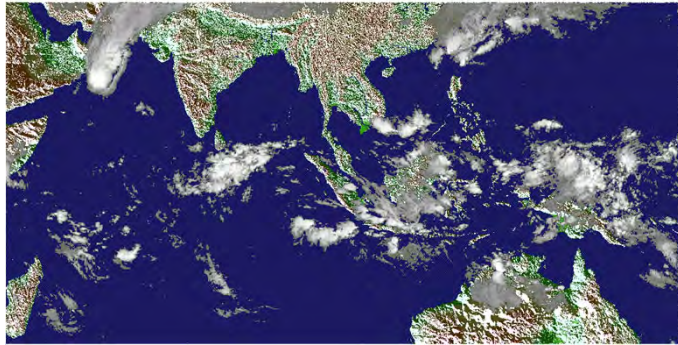
1971年と1972年に論文を发表

赤道上の風と気圧に40~50日の周期性を発見

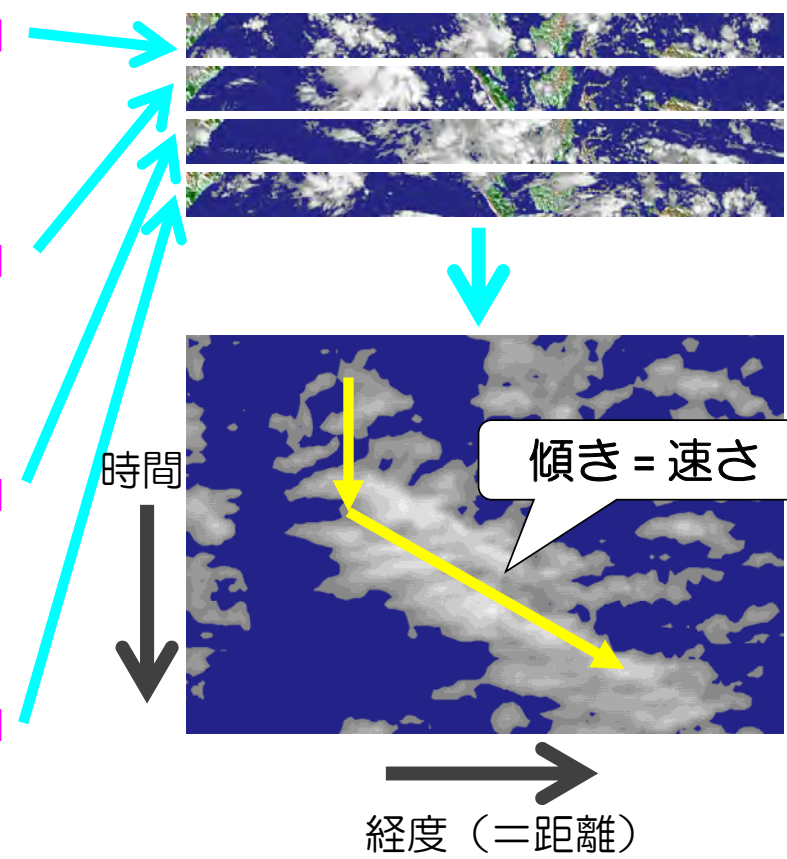
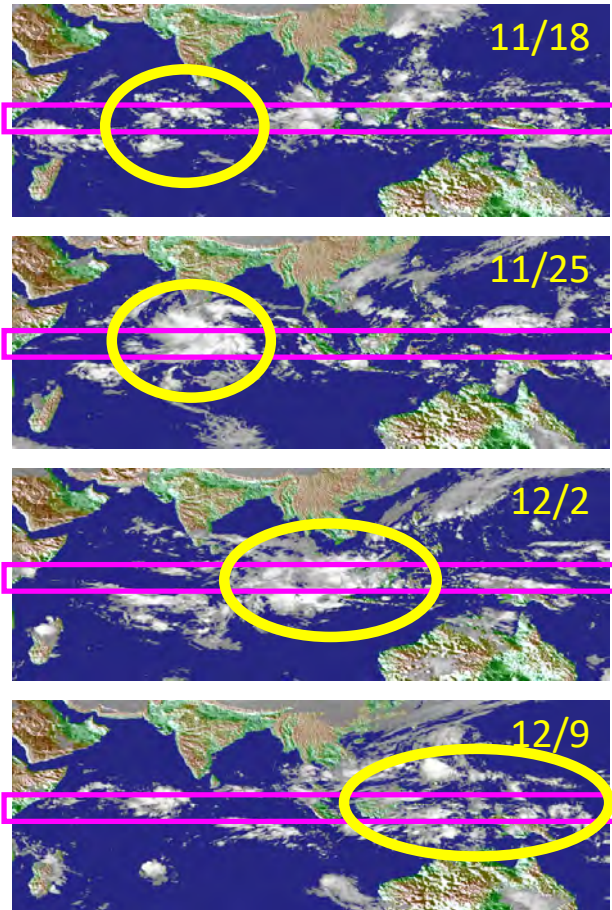


## Tips. ホフメラー図

気象学でよく使用される簡単かつ便利な作図法で MJO を1枚の図で表現する



2011年11月10日～12月10日 (NOAA/Global-IR)

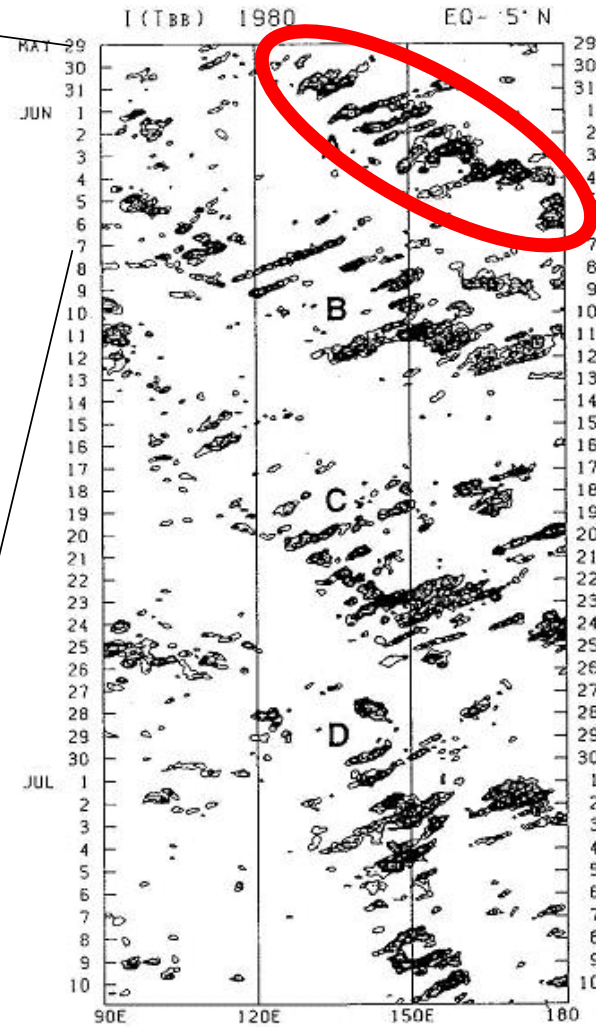
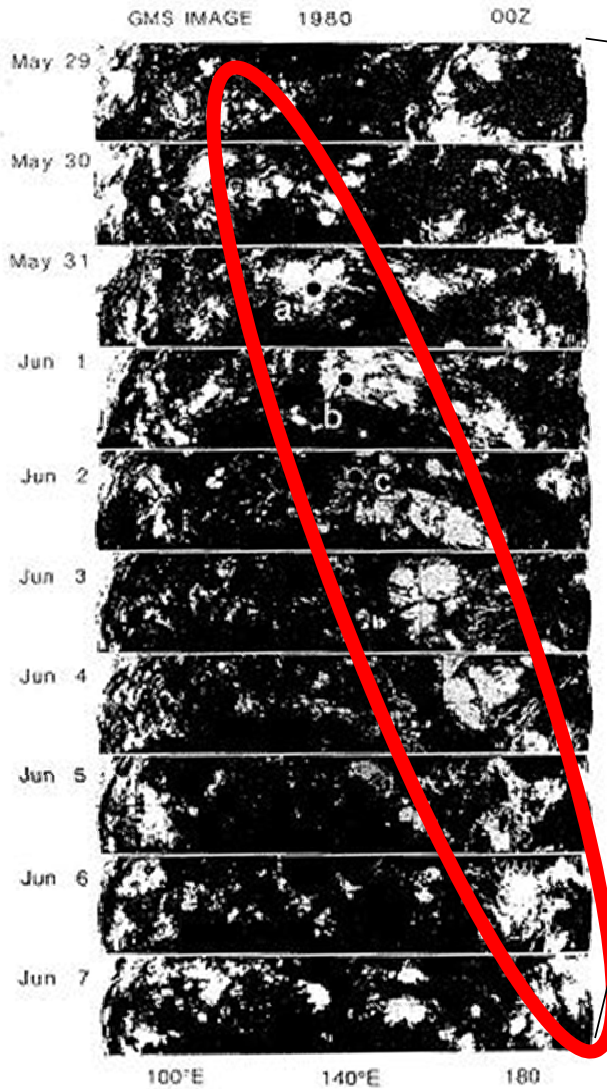


- 1) 主にインド洋で発生する数千kmの巨大雲群が赤道に沿って約5 m/sのスピードで東進する現象。
- 2) 発生周期が30-60日で、季節より短いため「季節内変動」と呼ばれる現象の1つ。

ただし、常に発生しているわけではない。

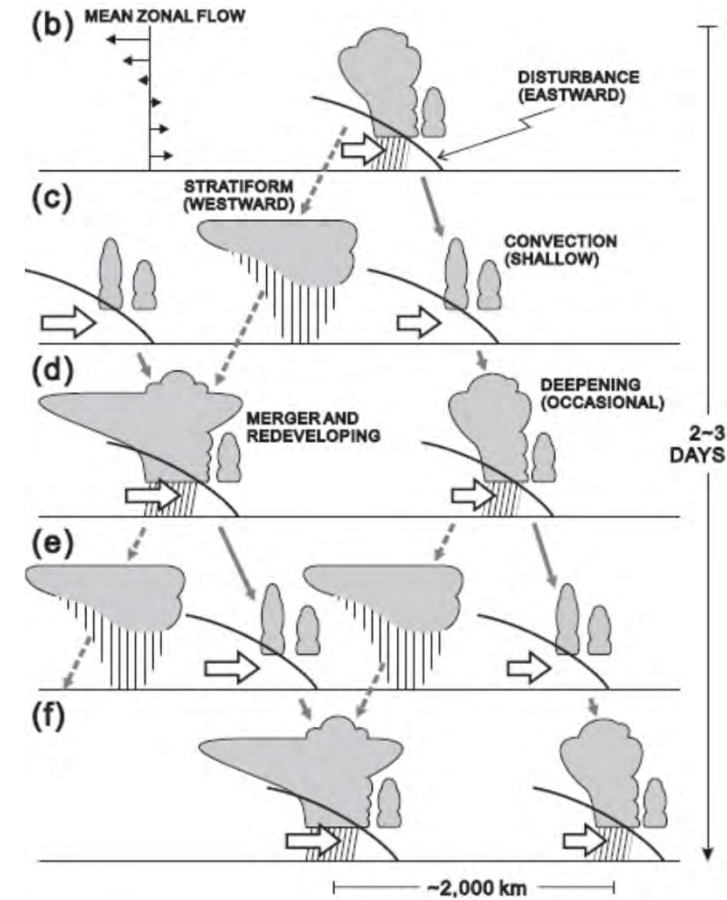


# MJOを構成する雲群の階層性



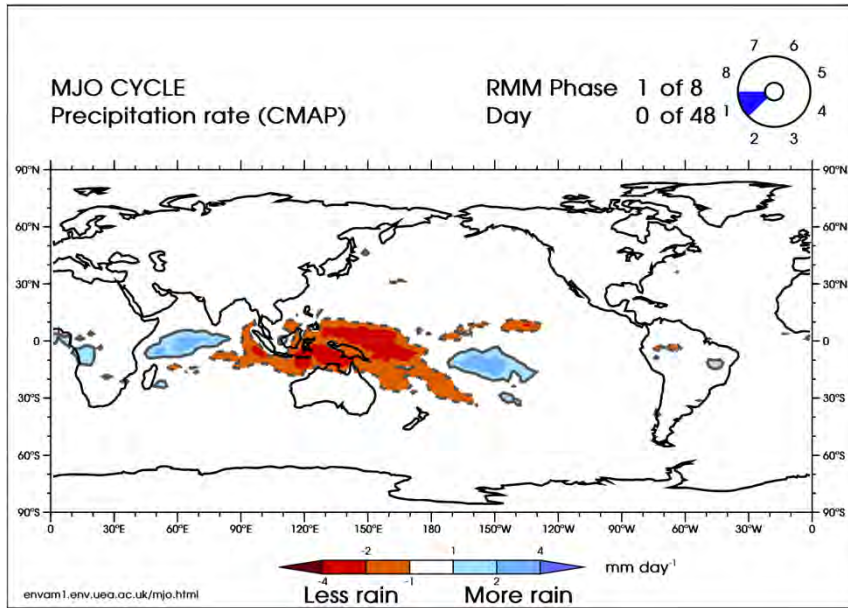
Nakazawa (1988, JMSJ) ©日本気象学会

階層性の存在 → 1)スケール間相互作用  
2)現場観測の意義

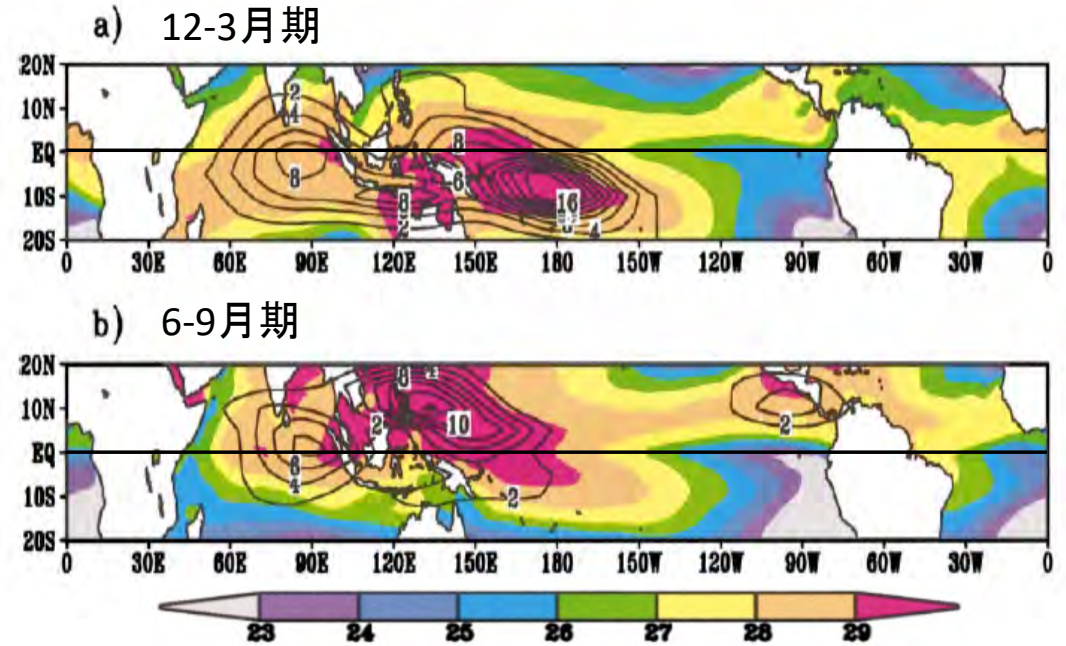


Yamada et al. (2010, JAS) ©2010 AMS

# MJOの出現特性



Taken from A. Matthew's website (<http://envam1.env.uea.ac.uk/mjo.html>)



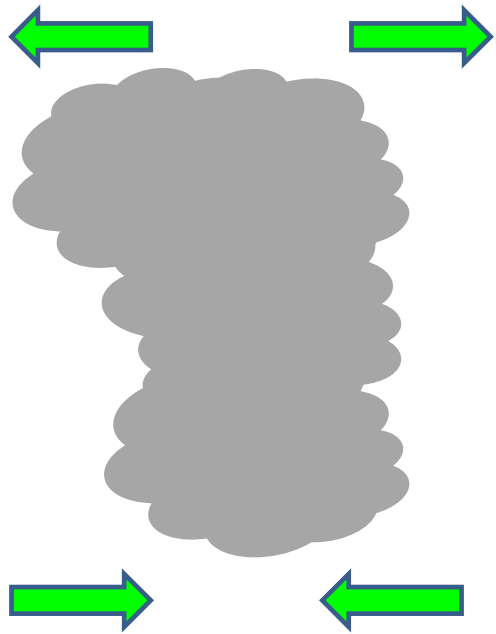
カラー陰影は海面水温、等値線はMJOに伴う降水変動を表す。

Zhang & Dong (2004) *Journal of Climate* ©2004 AMS

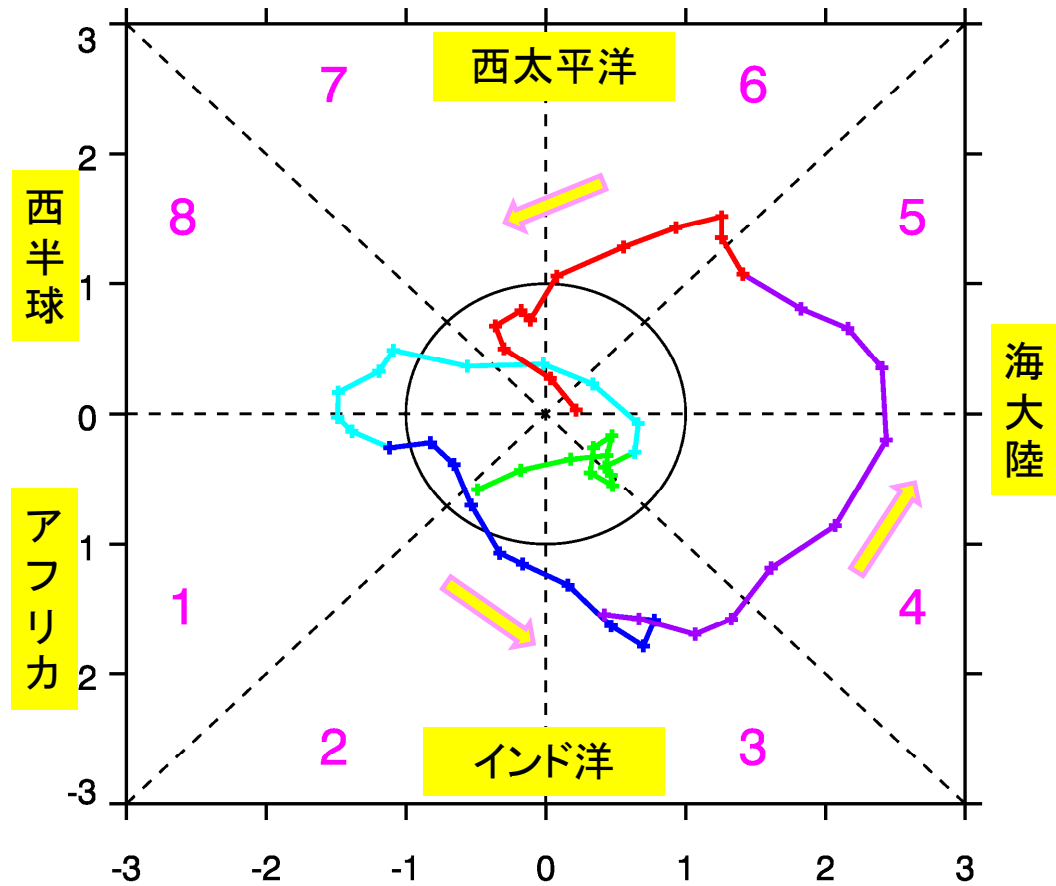
〈注記〉 インドネシア多島海で対流活動が弱くなる傾向がある。約1/3が海大陸を通過できず消滅するとの報告もあるが、諸説あり、原因確定には至っていない。

- 1) 陸域(主に海岸線や山麓部)で顕著に発達する日周期に伴う対流活動の影響
- 2) 海上からの水蒸気の蒸発量が減少することによる影響
- 3) 急峻な山岳地形によるブロッキング

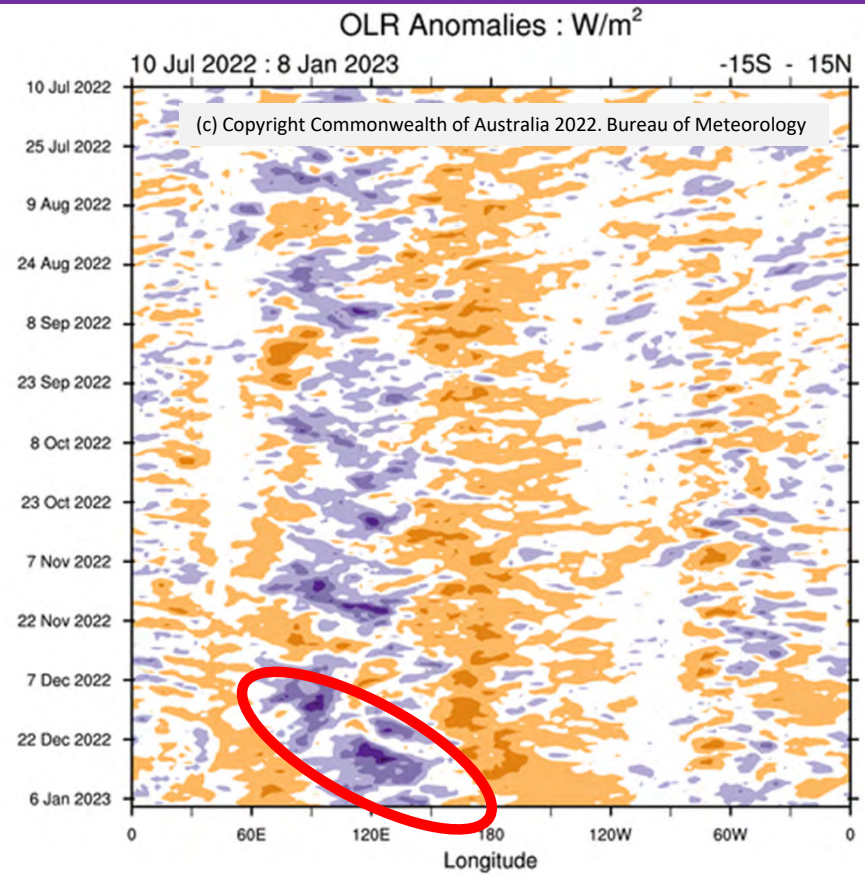
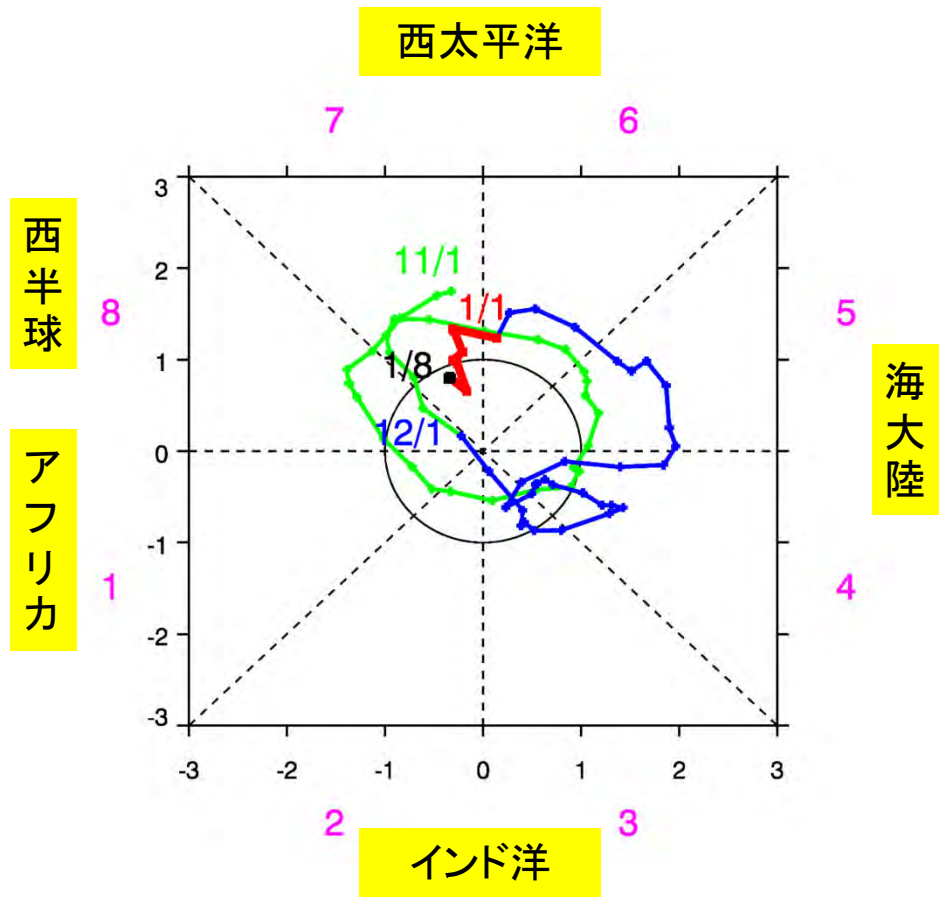
# MJOを監視する



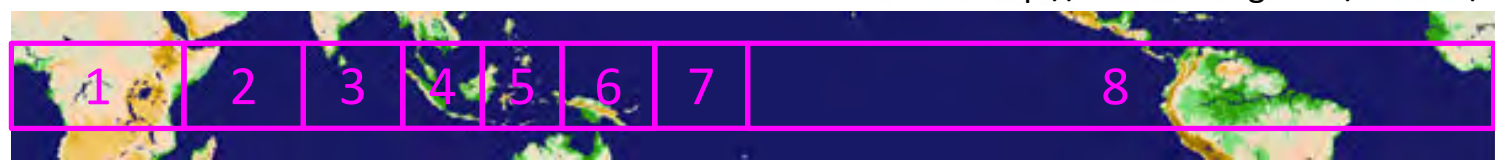
対流圏下層(850hPa)・上層(200hPa)の東西風とOLRから、EOF解析により現在の位置・強さを推定



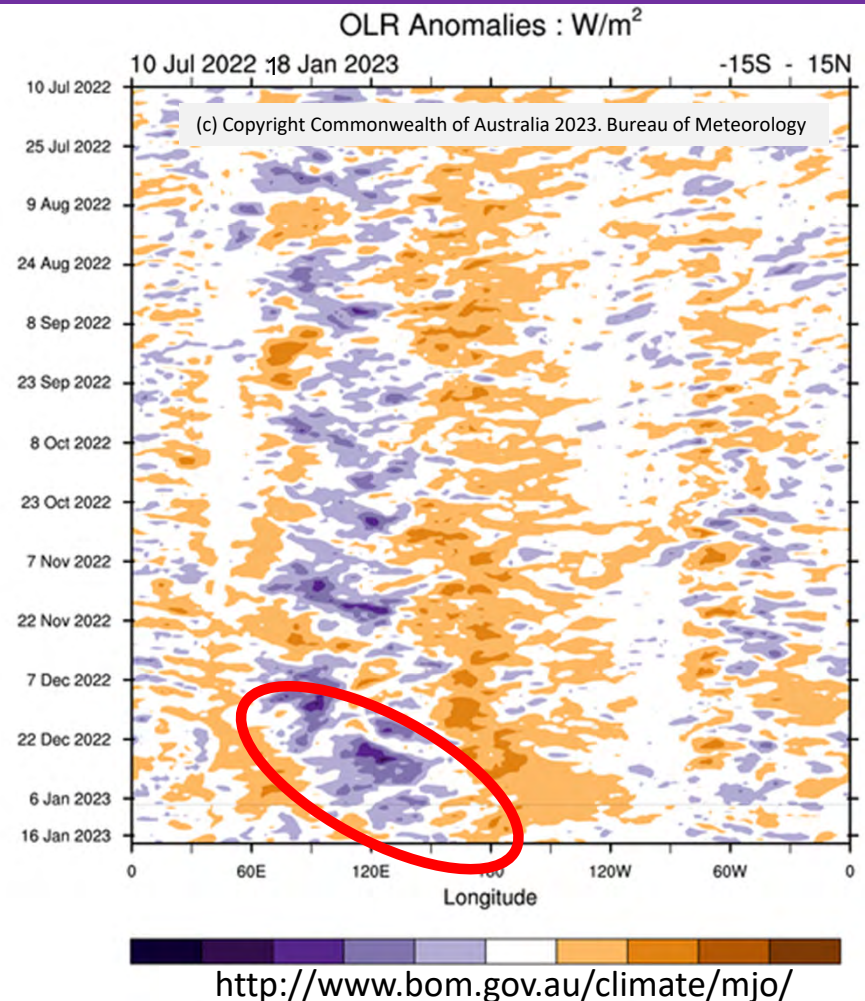
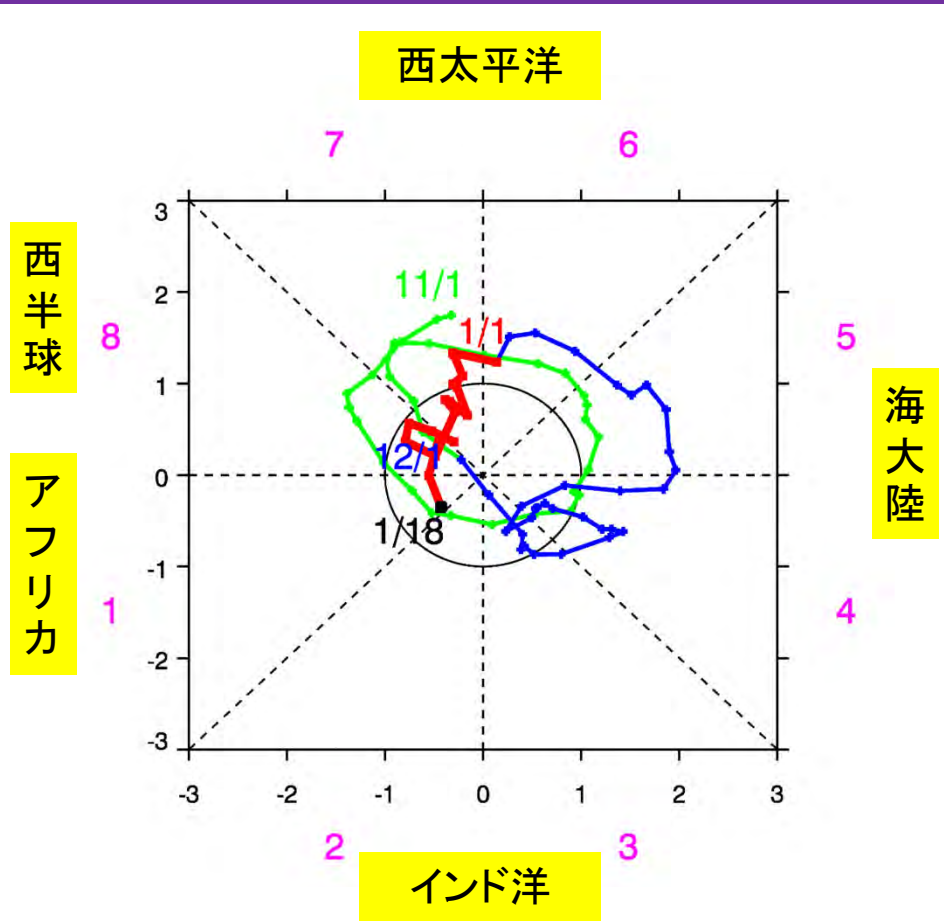
# 現在のMJO



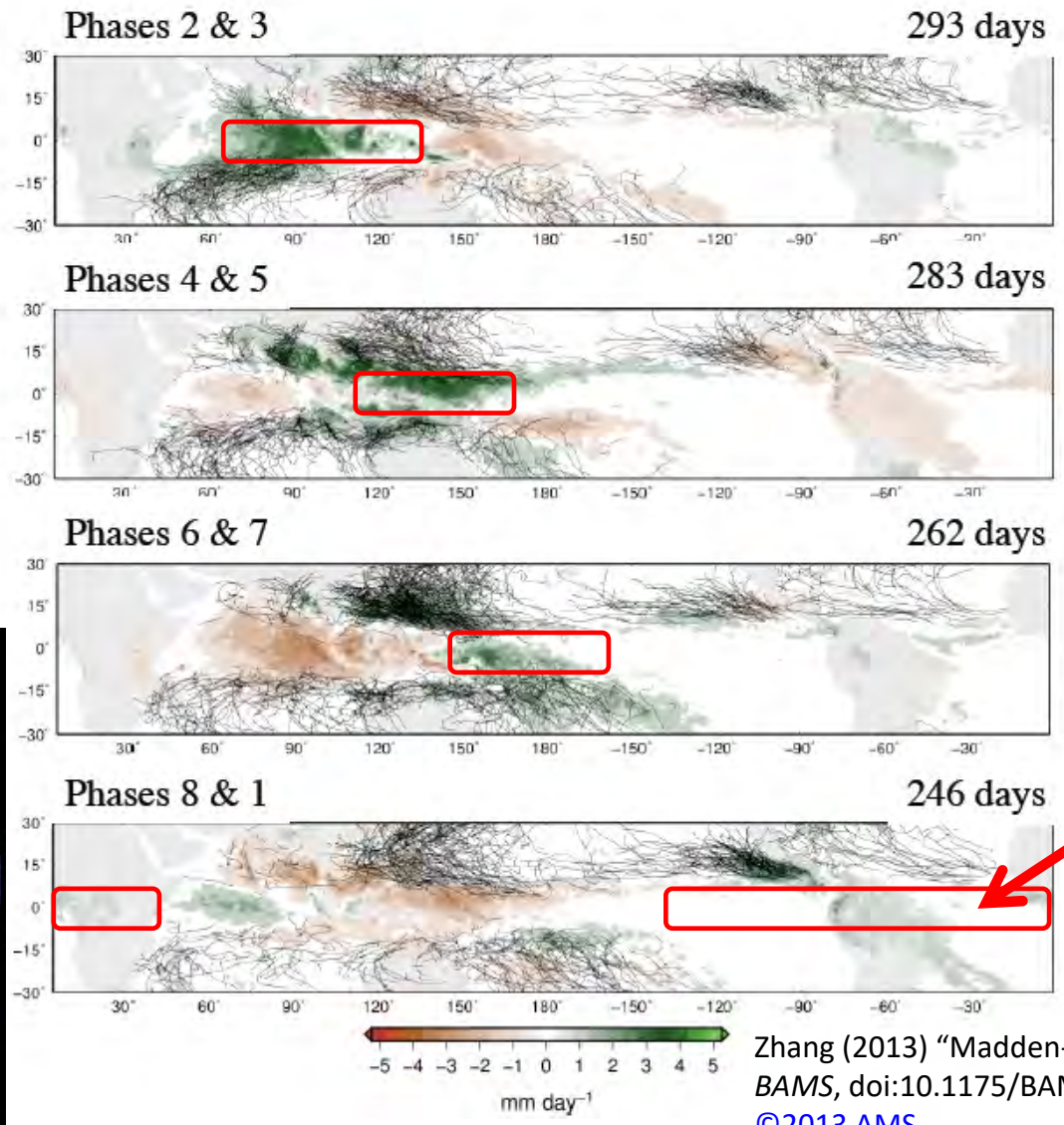
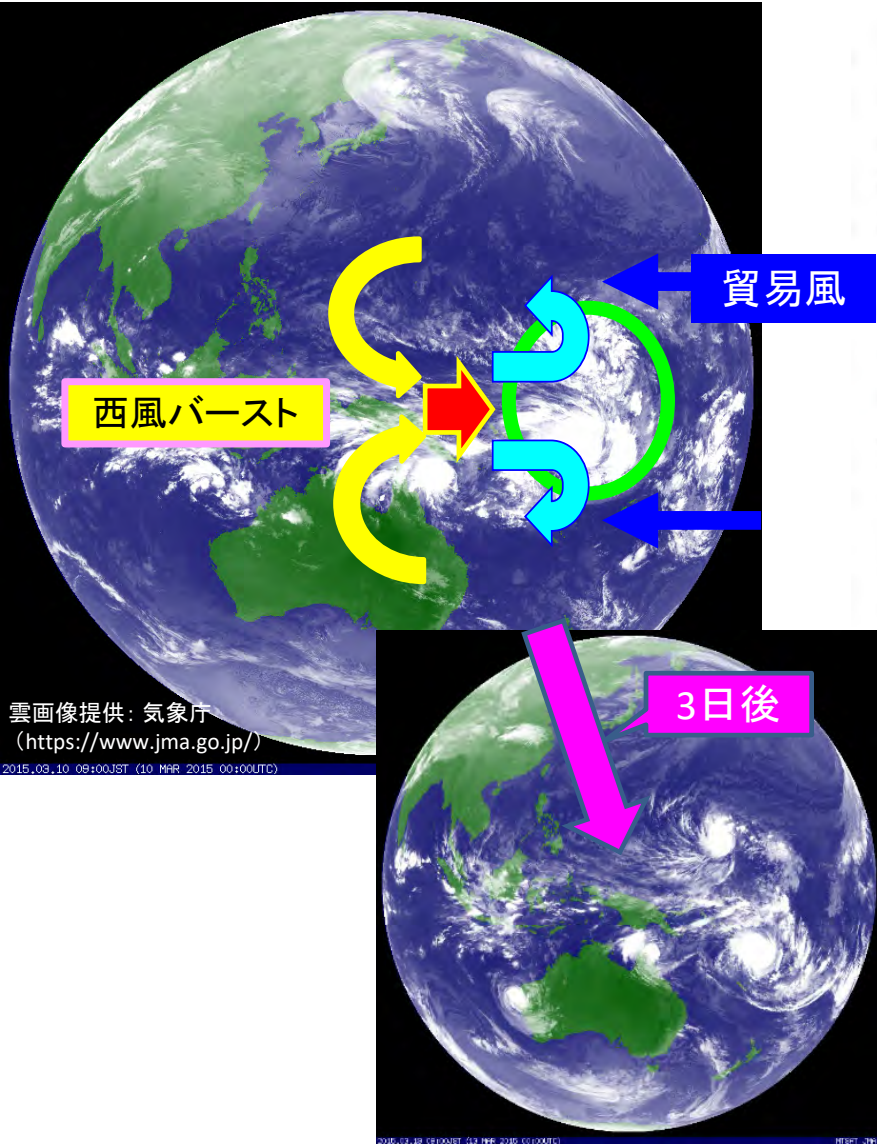
<http://www.bom.gov.au/climate/mjo/>



# 現在のMJO



# MJOと熱帯低気圧の関係

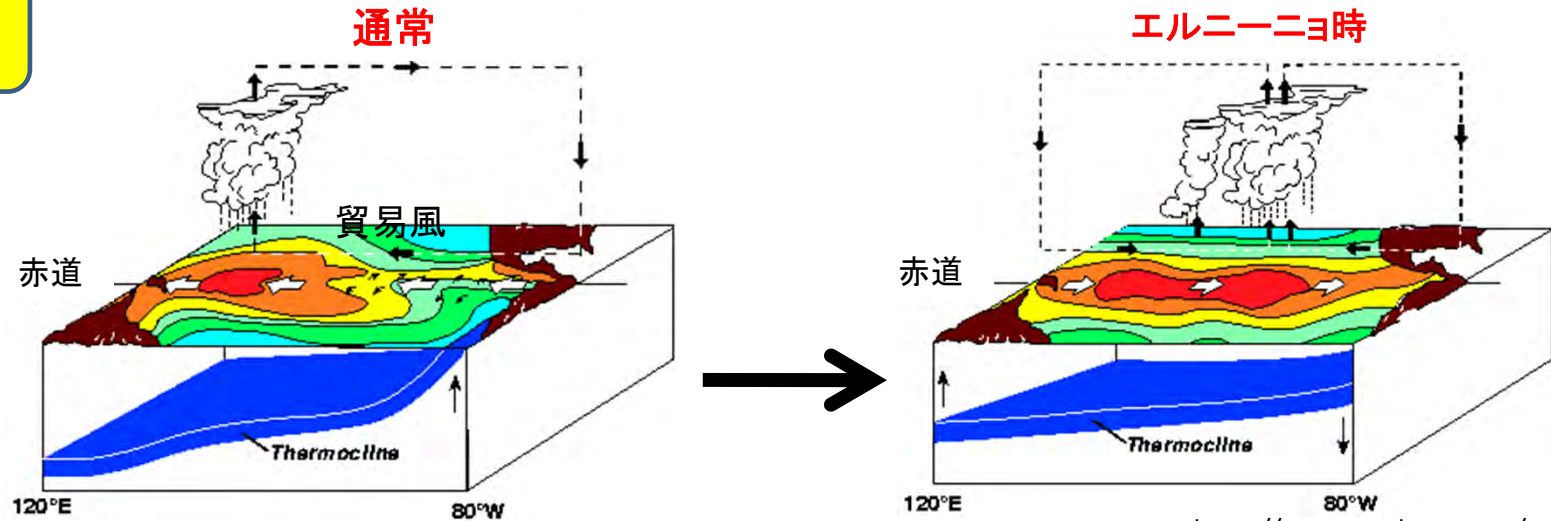


MJOに伴う雲群の中心位置

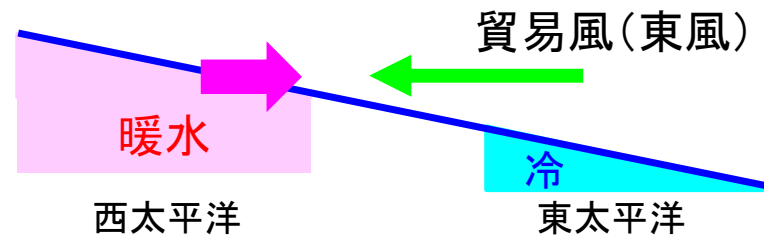
Zhang (2013) "Madden-Julian Oscillation" BAMS, doi:10.1175/BAMS-D-12-00026.1 ©2013 AMS

# MJOとエルニーニョ現象の関係(1/2)

再掲



<https://www.pmel.noaa.gov/> より引用

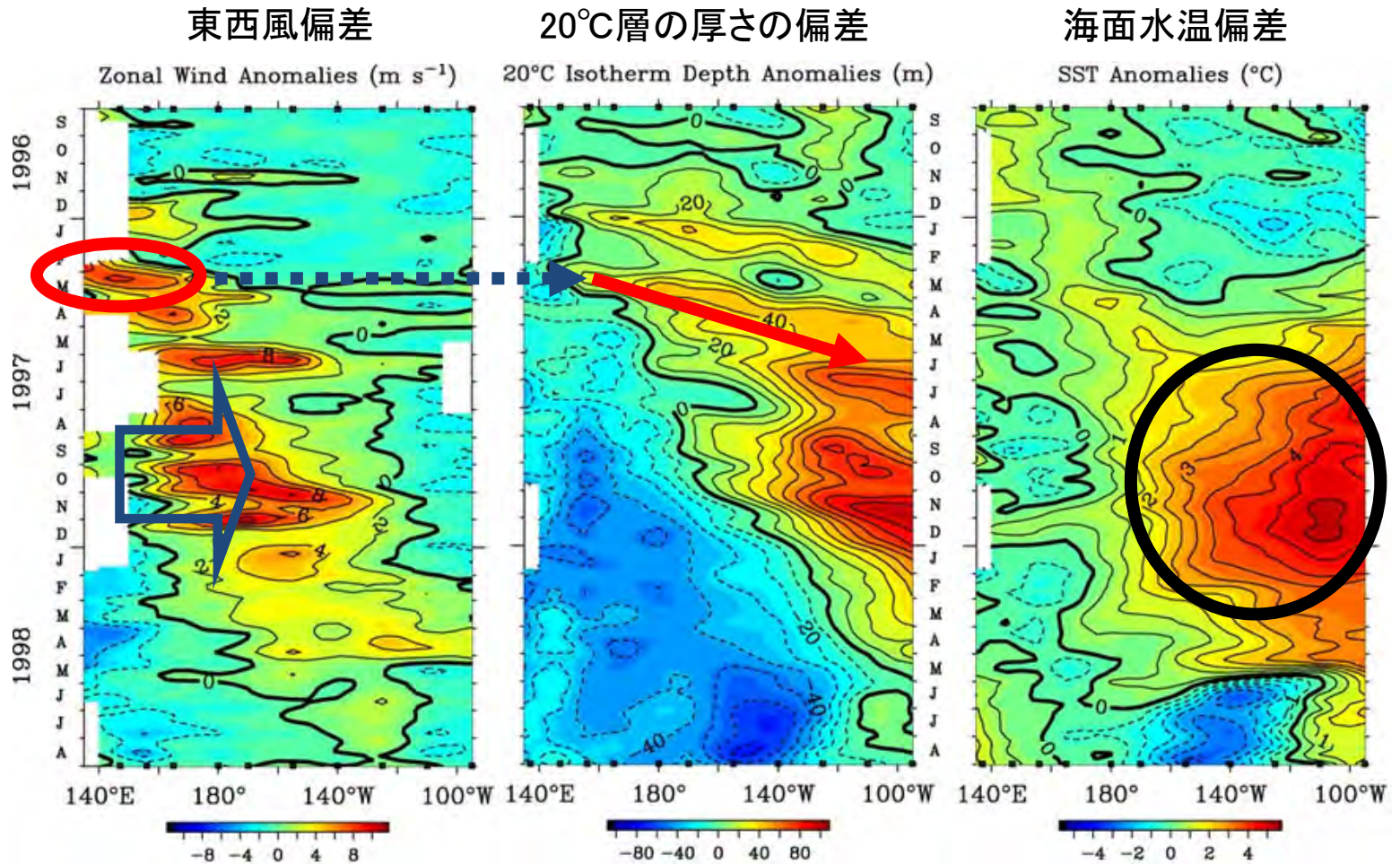


通常は、貿易風と海水の圧力がバランスしている。  
しかし、西風バーストはそのバランスを崩し得る。

## MJOとエルニーニョ現象の関係(2/2)



太平洋・インド洋・大西洋の赤道付近にはこのようなブイが1990年代より係留されている。



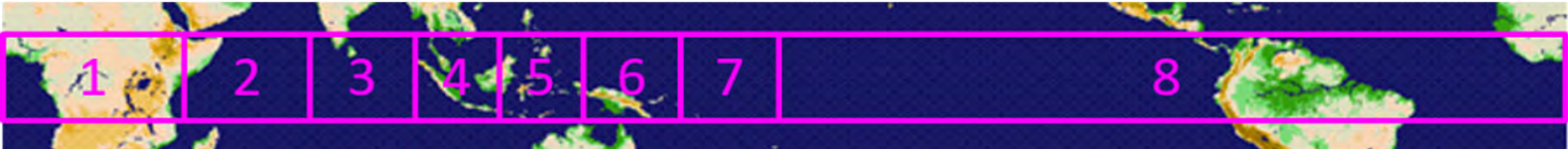
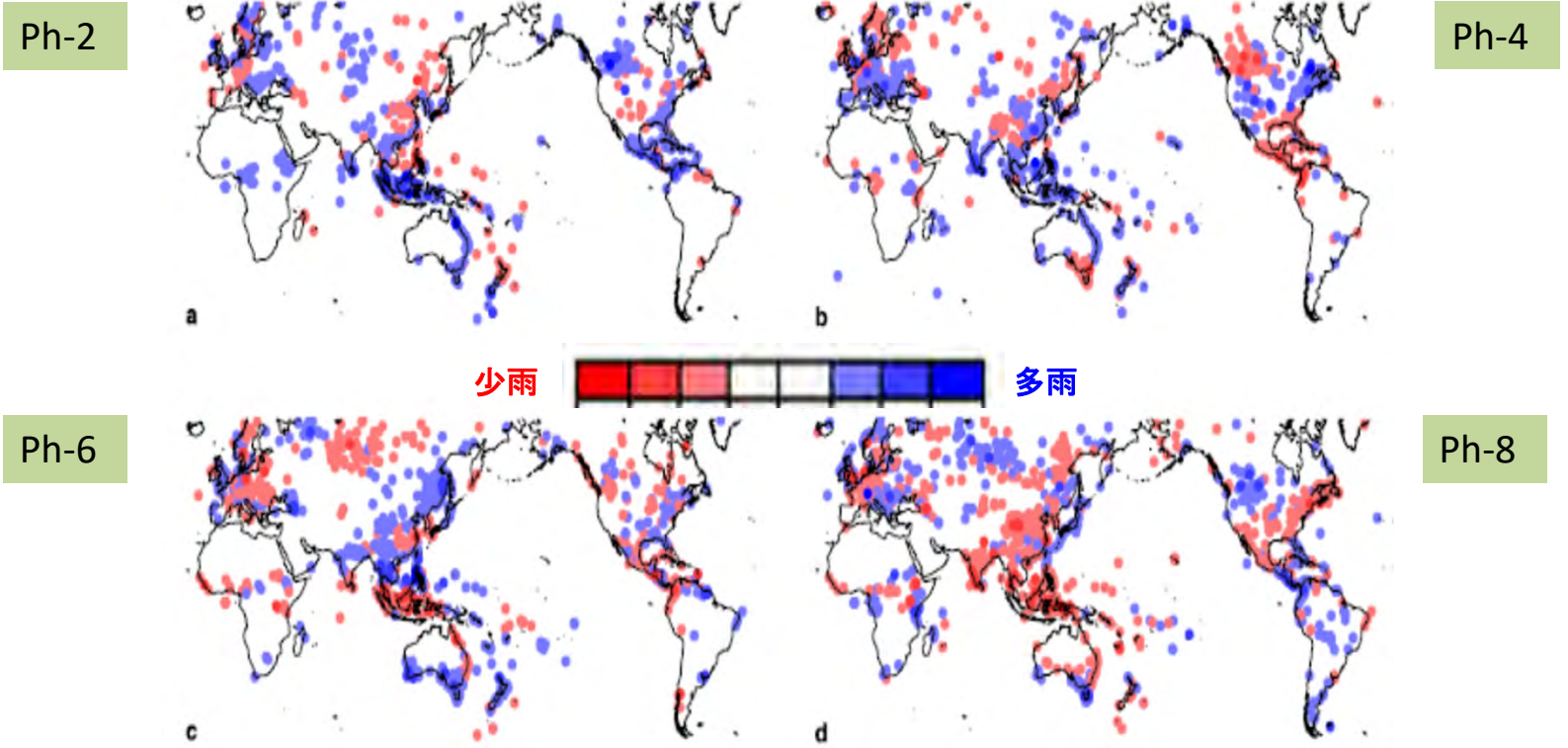
出典: NOAA/PMEL Global Tropical Moored Buoy Array Program  
<https://www.pmel.noaa.gov/tao/drupal/disdell/>にて作図



# MJOの影響例

5-10月期のMJO対流域通過に伴う世界の降雨分布の変化

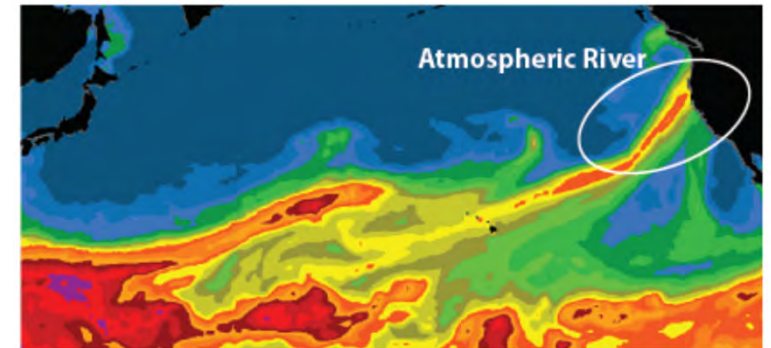
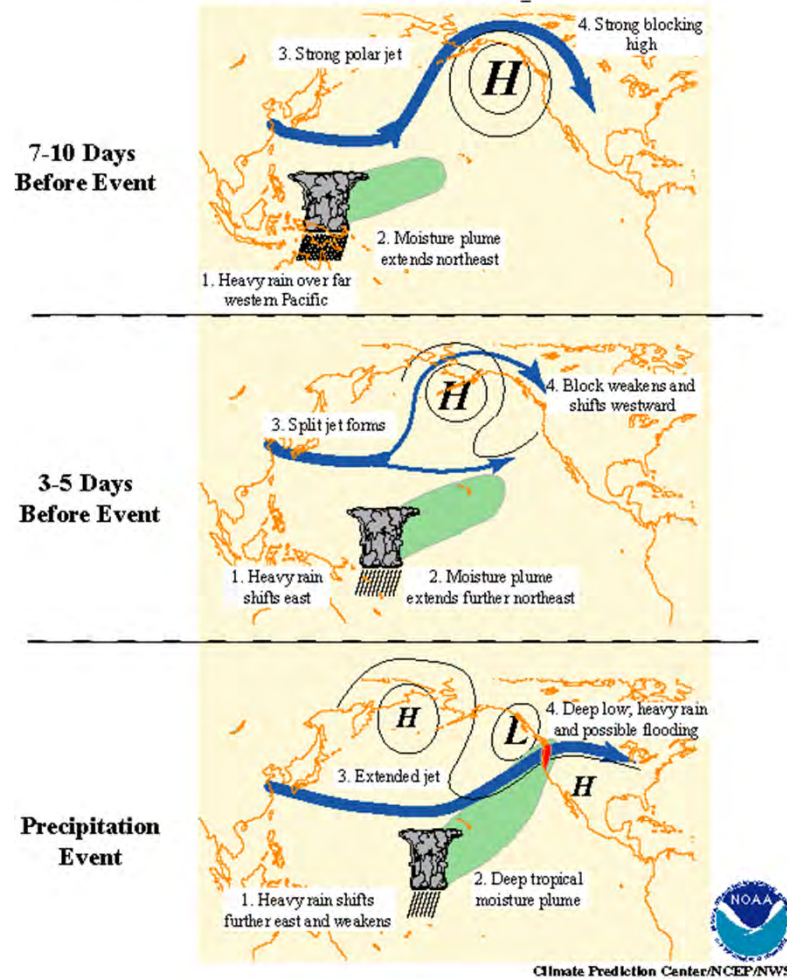
Taken from Donald et al. (2006) *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L09704. doi:10.1029/2005GL025155



# パイナップルエクスプレス

米国海洋大気庁のMJOを説明するサイトで紹介している、MJOが米国に影響を与える例

## Typical Wintertime Weather Anomalies Preceding Heavy West Coast Precipitation Events



Satellite image of an atmospheric river in February 2017.



ハワイ付近から湿潤空気塊が米国西海岸に到達し、豪雨をもたらす。

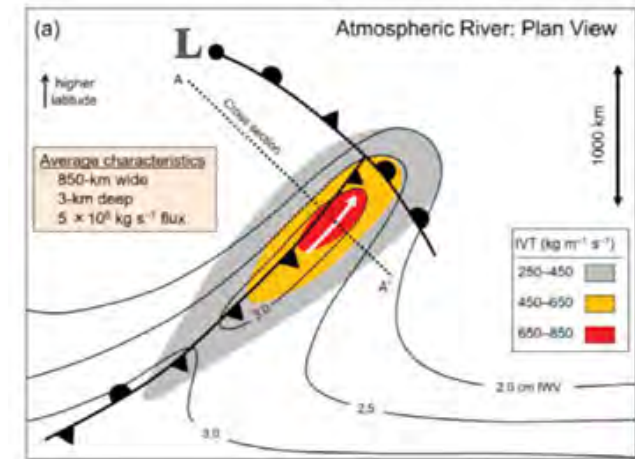
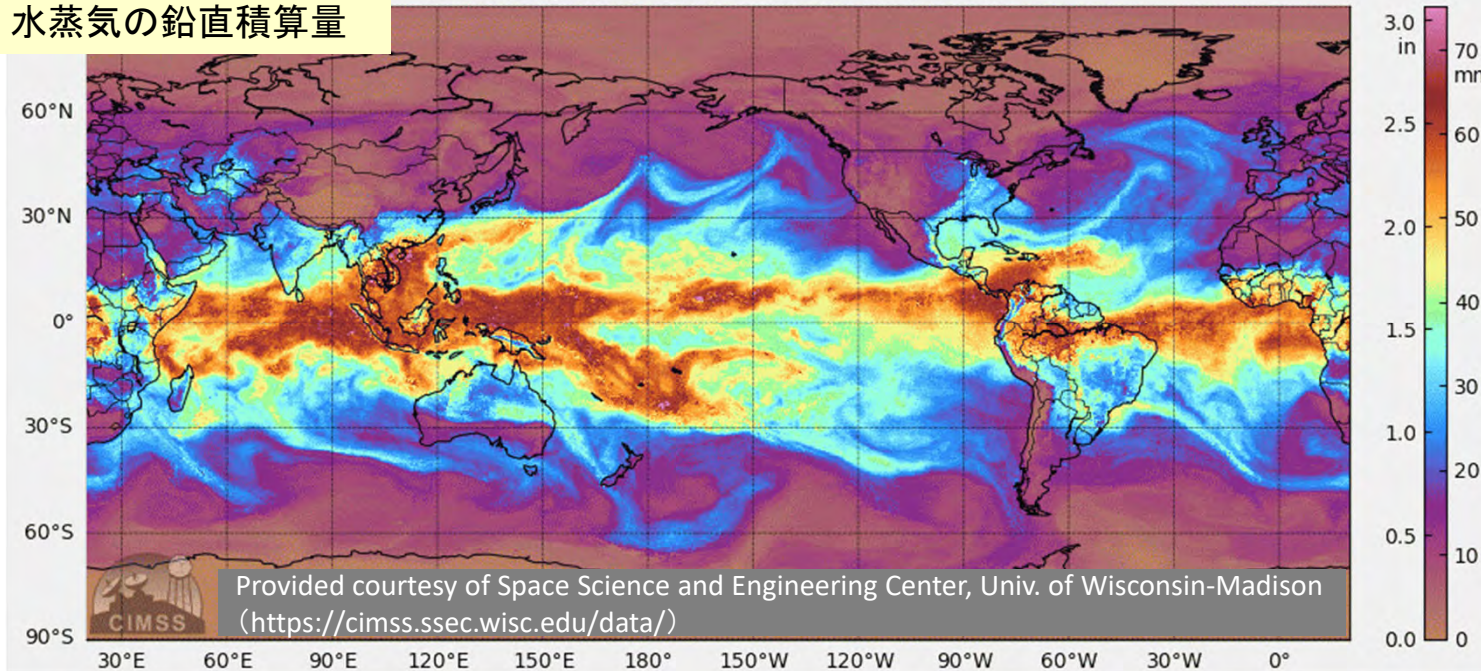
引用元: NOAA <https://psl.noaa.gov/arportal/>

出典: [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/MJO\\_summary.pdf](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/MJO_summary.pdf)

# Atmospheric River (大気の川)

人工衛星で観測された  
水蒸気の鉛直積算量

Total Precipitable Water 2022-05-01 0000 UTC



しばしば寒冷前線前方に現れる  
(米国気象学会 用語解説)

[https://glossary.ametsoc.org/wiki/Atmospheric\\_river](https://glossary.ametsoc.org/wiki/Atmospheric_river)

“大気の水”とは対流圏の水平方向に細長く伸びた高水蒸気量の流れで、幅は400~800km、長さはしばしば数千kmに及び、その流量はアマゾン川の2倍に達することもある。主に中緯度の寒冷前線の前方の対流圏下層の流れに伴い現れる。

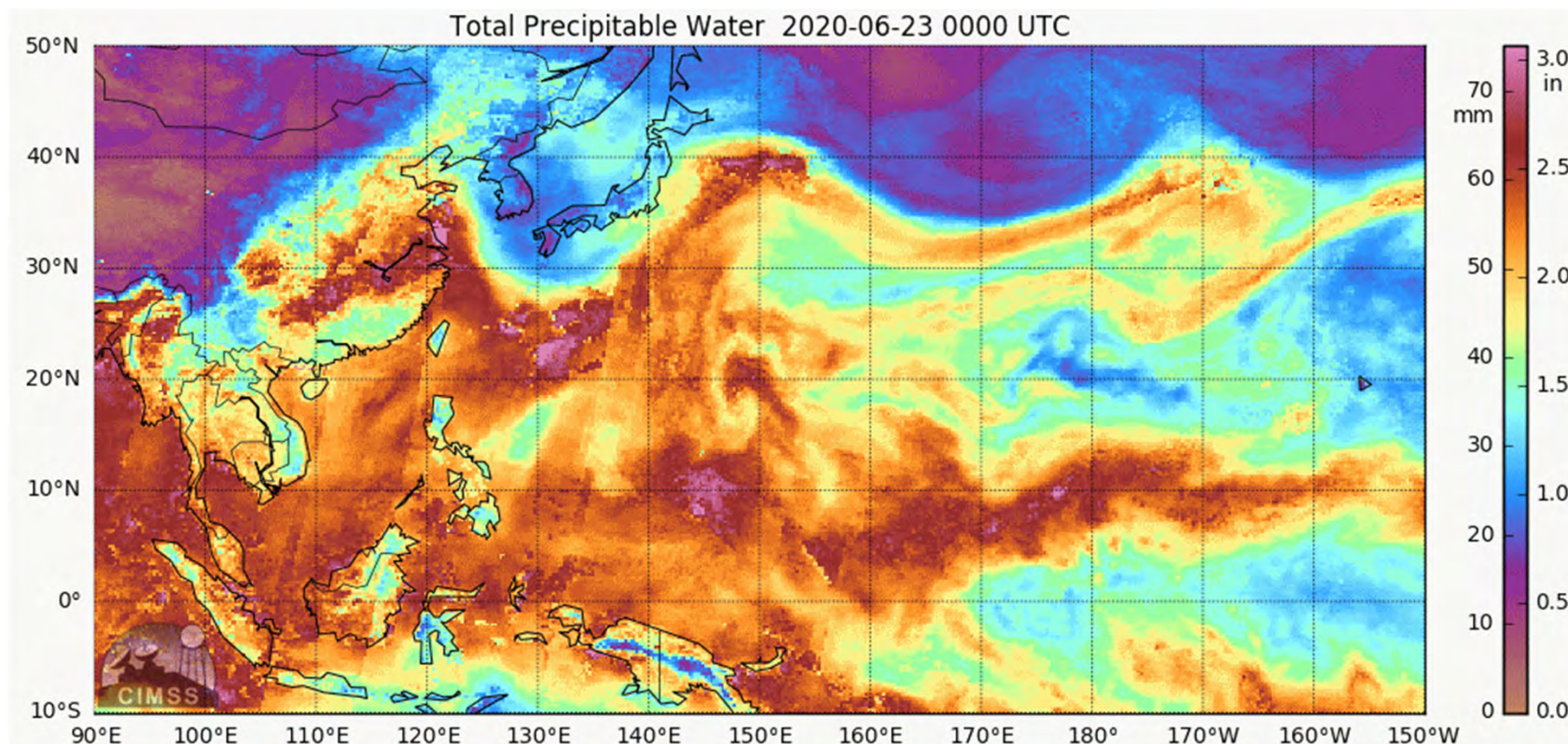
米国西海岸で観測されるARの基本情報

(米国NOAA <https://psl.noaa.gov/arportal/>)

- 数回の上陸で、アメリカ西海岸の州の年間雨量の30-50%をまかなう。
- カリフォルニア州の自然災害の過半数はARによる洪水である。
- ハワイから西海岸に到達するARをパイナップルエクスプレスと呼ぶ。

# 人工衛星により観測された可降水量(水蒸気の鉛直積算量)

「令和2年7月豪雨」時(2020.06.23 - 2020.07.08)の分布



出典: University of Wisconsin-Madison / Space Science and Engineering Center  
[ftp://ftp.ssec.wisc.edu/pub/mtpw2/images/tpw\\_nrl\\_colors/](ftp://ftp.ssec.wisc.edu/pub/mtpw2/images/tpw_nrl_colors/)

## 「海洋大気の相互作用が招く気候変動」

海洋研究開発機構 (JAMSTEC)

地球環境部門 大気海洋相互作用研究センター

### 国内動向

- 1) 気象庁が線状降水帯予測を開始
- 2) 台風研究を専門とする研究機関が横浜国立大学に設立
- 3)

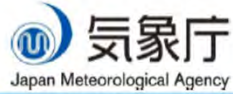
### 国際動向

科学者と一般市民の間のギャップをどう埋めるかが最大の関心事

- ・インド洋ダイポールモード現象 (IOD)
- ・マッデン・ジュリアン振動 (MJO)

### 5) 最新の国内・国際動向

# 気象庁による線状降水帯の予測開始



Japan Meteorological Agency

いのちとくらしをまもる  
防災減災

## 報道発表

令和4年4月28日  
気象庁

### 線状降水帯予測の開始について

頻発する線状降水帯による大雨災害の被害軽減のため、6月1日から産学官連携で世界最高レベルの技術を用いた線状降水帯予測を開始します。



Japan Meteorological Agency

いのちとくらしをまもる  
防災減災

## 報道発表

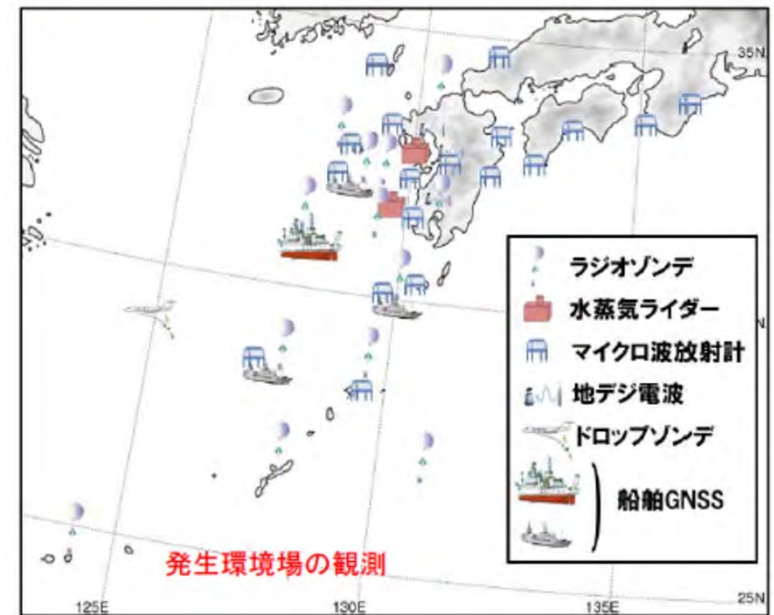
令和4年5月31日  
気象庁

### 線状降水帯予測精度向上に向けた技術開発・研究を オールジャパンで実施します

気象庁は、線状降水帯予測精度向上に向けた技術開発・研究のため、全国の大学等の研究機関と連携して、6月よりメカニズム解明に向けた高密度な集中観測や、スーパーコンピュータ「富岳」を活用したリアルタイムシミュレーション実験を実施します。

### ◆ 線状降水帯の発生環境場(特に水蒸気)の観測

- 線状降水帯の発生・維持に影響を及ぼす環境場を定量的に把握するための観測を行う。
- 特に重要な水蒸気については、九州付近に流入して線状降水帯発生の主要因となる水蒸気量とその時間変化を把握する。
  - 東シナ海を中心とした海上において船舶・航空機を用いた観測
  - 陸上において各種リモートセンシング等を用いた観測



出典：気象庁報道発表資料

<https://www.jma.go.jp/jma/press/2204/28a/senjokousuitaiyosoku20220428.html>

[https://www.jma.go.jp/jma/press/2205/31a/SLMCS\\_AllJapan20220531.html](https://www.jma.go.jp/jma/press/2205/31a/SLMCS_AllJapan20220531.html)

## 2021年10月、横浜国立大学・先端科学高等研究院に日本で最初の台風専門研究機関設立

- 【目的】
- ・ 台風災害リスクの低減による安全で生き活きとした持続的な社会構築への貢献
  - ・ 台風エネルギーの活用による脱炭素社会実現への貢献

【特徴】 日本全国の大学・国立研究機関・産業界からメンバーが集結（JAMSTECからも参加）

【体制】 台風科学技術研究センター は 以下の6つのラボからなる



【主活動】 タイフーンショット計画の実現（含ムーンショット目標8への貢献）

2050年を目標に、台風の勢力を制御、さらにその一部をエネルギーとして取り出すことで、台風の「脅威」を「恵み」に変換し、資源活用することで安心かつ安定した持続可能な社会を実現する。

情報提供元： 横浜国立大学・先端科学高等研究院・台風科学技術研究センター

# ムーンショット計画 目標8

## 制度概要

超高齢化社会や地球温暖化問題など重要な社会課題に対し、人々を魅了する野心的な目標(ムーンショット目標)を国が設定し、挑戦的な研究を推進する制度

## 目標

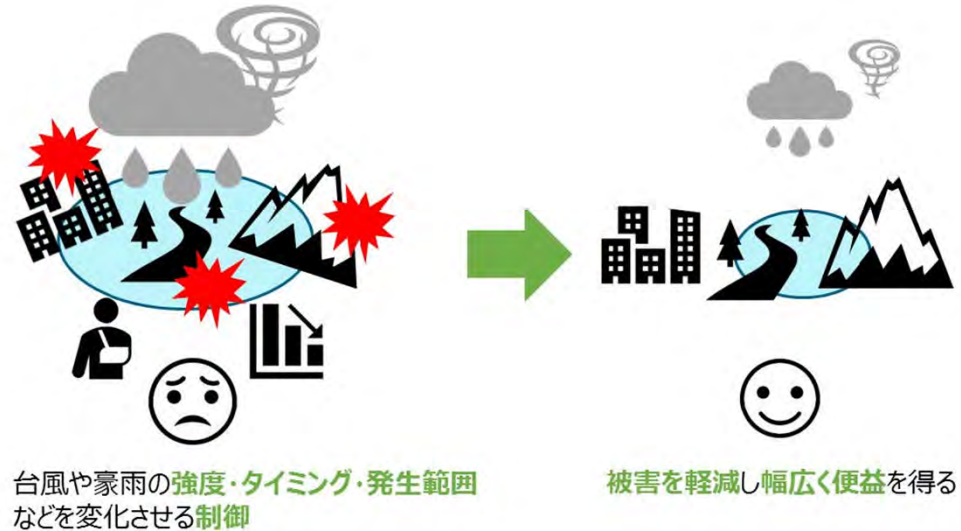
「Human Well-being」(人々の幸福)を目指し、その基盤となる社会・環境・経済の諸課題を解決すべく、9つの目標を設定。

## 目標 8

2050年までに、激甚化しつつある台風や豪雨を制御し、極端風水害の脅威から解放された安全安心な社会を実現

### 現在進行中のプロジェクト

社会意思決定を支援する気象-社会結合系の制御理論  
安全で豊かな社会を目指す台風制御  
ゲリラ豪雨・線状対流系豪雨と共に生きる気象制御  
気象制御のための制御容易性・被害低減効果の定量化  
台風下の海表面での運動量・熱流束の予測と制御  
局地的気象現象の蓋然性を推定可能にする気象モデルの開発  
大規模自由度場のアクチュエータ位置最適化  
台風制御に必要な予測と監視に貢献する海の無人機開発





# 世界気象機関 (World Meteorological Organization : WMO)



WORLD  
METEOROLOGICAL  
ORGANIZATION



[https://www.jma.go.jp/jma/kokusai/kokusai\\_wmo.html](https://www.jma.go.jp/jma/kokusai/kokusai_wmo.html)

- ✓ Weather
- ✓ Climate
- ✓ Water
- ✓ Environment
- ✓ Research
- ✓ Observations - Data - Modeling
- ✓ Development Partnerships
- ✓ Capacity development
- ✓ Services

## 国連の専門機関の一つ

組織:

意思決定機能は4年毎に開催される世界気象会議と、年に1度開催される執行理事会。執行機関として事務局、地区協会、専門委員会等がある。また、主に研究開発に係る実働母体として様々な“プログラム”が存在する。

→ その一つが世界天気研究計画(WWRP)

財政:

第18財政期(2020-23)の予算総額は271.54M CFHで2020年の日本の分担率は8.44%となっている。

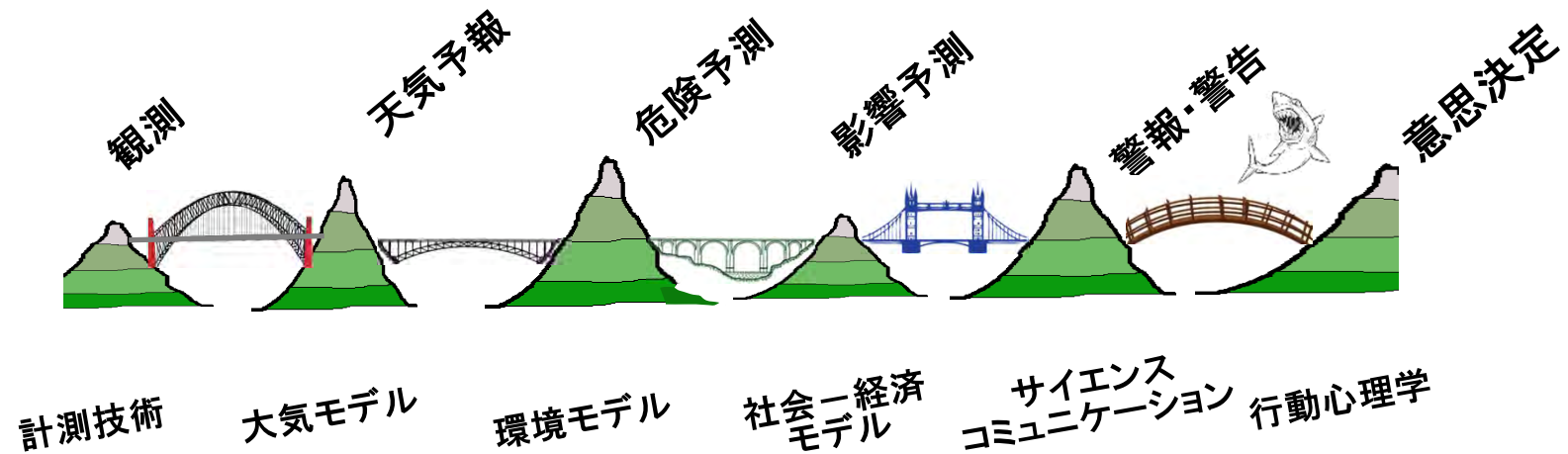
## WMO STRATEGIC PLAN 2020-30

Long-Term Goals



出典: WMO HP (<https://public.wmo.int/en>)

# 早期警報システムのための価値連鎖・循環



政策決定者が意思決定するまでに解決しなければならない5つの谷:  
それぞれの谷にかかる橋は 学際的な and/or 省庁の垣根を越えた会話を意味する

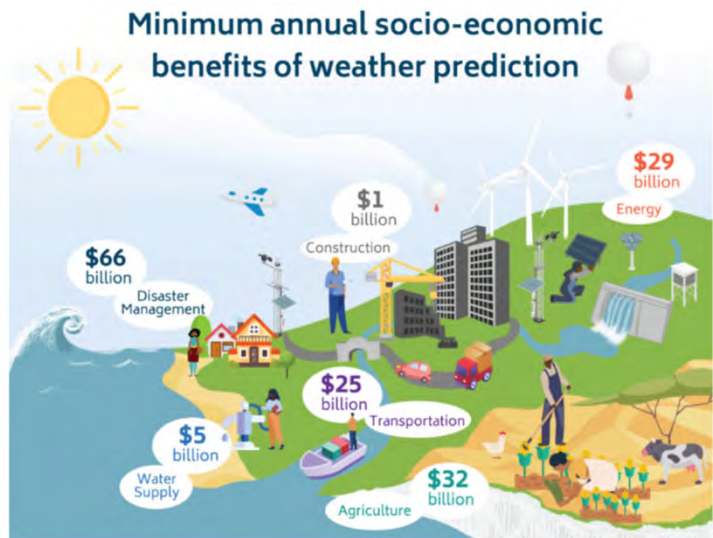
Taken from Goldin et al. (2019) © British Crown Copyright

[https://www.preventionweb.net/files/65828\\_f212goldingetalvaluechain.pdf](https://www.preventionweb.net/files/65828_f212goldingetalvaluechain.pdf)

【参考】さらなる理解のために ...

<https://community.wmo.int/news/hiweathernew-book-towards-perfect-weather-warning>

# WMOにおける喫緊課題と議論の焦点（WWRPの観点から）



天気予報が生み出す価値

出典: WMO (2020) <https://alliancehydromet.org/soff/>

© 2021 Alliance for Hydromet Development

- ✓ 2022年、国連事務総長からWMOに対して5年以内に早期警報システムが世界中の誰にでも届くような指針を作成せよと指示
- ✓ 正確な予報が利用者のニーズを必ずしも満たすわけではない（利用者には防災関係だけでなく産業利用も含む）
- ✓ 確率予報・予測をどのように利用者に伝えるか（MJOのような「季節内」という概念は、日々の天気予報や季節予報などと異なり一般に浸透していない）
- ✓ 自然科学と社会科学の研究者は計画立案段階からひざを突き合わせるべき
- ✓ 利用者を含んだ協同による計画立案、開発、評価の流れの確立
- ✓ 若い世代を常に議論の中に入れ、次世代リーダーを育成する
- ✓ 地域固有（地勢、言語など）の対応と他地域への応用

## おわりに

- ✓ 集中豪雨は日本全国どこでも発生するが、特に太平洋岸や九州地方が多く、また地域特性がある。九州地方では梅雨期の停滞前線に伴う線状降水帯や夏から秋にかけての台風が主な原因であるのに対して、東海から関東にかけての地域では台風の500km以上外側に存在する線状の降水域が卓越している。
- ✓ 線状降水帯や台風に伴う豪雨は、必ずしも地球温暖化の直接効果とは限らず自然変動の中で発生する。しかしながら、東シナ海の海面水温と九州における豪雨との関係や温暖化に伴う日本近海の海面水温上昇などは明らかとなっており、また、台風は温暖化に伴い出現頻度はむしろ減少傾向にあるが（ただし統計的有意ではない）、雨・風の強化が示唆されており、対策不可避である。
- ✓ 日本の雨の水蒸気源や太平洋高気圧の配置を決定する因子を生み出す熱帯の現象として、ENSO、IOD、MJOを紹介した。いずれの現象も高い海面水温とそこから供給される水蒸気、さらに発達する積雲対流の振る舞いが本質であり、大気海洋相互作用を介して発生・維持される現象である。テレコネクションの理解と、それに基づく予測精度の向上に向けた研究が進んでいる。
- ✓ 国内では線状降水帯や台風の研究をオールジャパンで行う体制がようやく形作られてきたところである。また、国際的にも地球温暖化に伴う災害の拡大を背景に迅速な行動が求められている。特に力点が置かれていることは、研究者は精度良い予報・予測を実現すると同時に、得られた成果が正しく、かつ利用者にとって役立つ形でタイムリーに提供される仕組みの構築である。このためには、自然科学者、利用者、両者をつなぐ社会科学者の協同による企画立案、開発、評価の確立が不可欠。例えば本「防災塾だるま」は、自らが何をすべきかを考え行動するだけでなく、研究者に要求することがその一歩。そして、その経験を対外的に広げて欲しい。今回、私が本講演を引き受けた理由もそこにある。

## Additional Slides

## Q & A (事前質問)

- ✓ 太陽の黒点移動周期の変化が気象に及ぼす影響は？
- ✓ 太陽活動が気象に及ぼす影響について。近年良く磁気嵐が報道されています。
- ✓ 地球内部の地殻変動と、地球外部からの振動が「共振」すると気象はどうなるのでしょうか？ 過去に例がありましたら教えてください。
- ✓ 偏西風の蛇行が大きくなると極端な気候が生じやすくなると言われます。この傾向は今後とも続きますか？また、人間の節度ある行動（SDGsの推進）によってこの傾向を止めることは出来るでしょうか？ 最近オゾンホールが小さくなってきたとの報道もありますが。
- ✓ 温室効果ガスとしてCO2が目の敵にされていますが、地球温暖化係数（GWP）はメタンの25分の1と云われています。そう考えると都市ガスからプロパンに変えた方が良いでしょうか？災害時にライフラインが止まる影響も小さいし。

## Q & A (事前質問)

- ✓ 太陽の黒点移動周期の変化が気象に及ぼす影響は？
- ✓ 太陽活動が気象に及ぼす影響について。近年良く磁気嵐が報道されています。

太陽の自転周期(25~30日、緯度によって異なる)や黒点(磁場が集中しているところ、温度が約4400°Cと低い)の増減にみられる11年周期などと、地球上の気象の関係を示す論文は単発的にでていますが、系統だった説明については知見を持ち合わせていない。

例えば、自転周期が約1か月のため、MJO(1-2か月)との関係を指摘する声もあるが推測の域を出ない。(明瞭な相関を示した結果を知らない。27日周期の卓越が雷活動に見られるという研究もあるが、一方で雷はMJOの不活発期に活発になることが知られており、支持する結果ではない。)

11年周期と温暖化の関係は(11年周期の振幅が20世紀後半は横ばいもしくは減少傾向にあったことから)しばしば否定されている。

直感的には地球にとってのエネルギー源である太陽の活動が地球の気象に影響を与えることはあってしかるべきだが、多くは、日周期、季節、年々変動の平均的な影響により場を作るが、個々の現象への影響は地球内の(その平衡状態からの)変異と物理が卓越し、太陽の直接的な影響を見つけづらと思われる。

磁場活動と気象の間接的な関係(例:太陽活動が活発→磁場が乱される→宇宙線減少→雲生成に必要な種が減少→雲量減少→気温上昇)については、定量的な検証が必要(ただし、カッコ内の仮説は否定する論文がでている)。

## Q & A (事前質問)

- ✓ 地球内部の地殻変動と、地球外部からの振動が「共振」すると気象はどうなるのでしょうか？ 過去に例がありましたら教えてください。

あいにく知見を持ち合わせておりません。

ご質問の趣旨からずれますが ...

2022年1月のトンガでの海底火山噴火に伴い日本で当時予測できなかった(通常の津波よりも3時間以上早い到達の)津波が観測されたのは、噴火により発生した大気中のラム波(音波の一種、地表面を水平方向のみに約300m/secで伝搬)とペケリス波(地球大気固有の共鳴振動波で上下に位相が反転する特徴を持ち、約240m/secで伝搬)が海洋の波との間でプラウドマン共鳴による気象津波を引き起こし、増幅させていたためであることが、数値モデル実験で説明されている。

出典: [https://www.jamstec.go.jp/j/about/press\\_release/20221227/](https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20221227/)



## Q & A (事前質問)

- ✓ 偏西風の蛇行が大きくなると極端な気候が生じやすくなると言われます。この傾向は今後とも続きますか？また、人間の節度ある行動（SDGsの推進）によってこの傾向を止めることは出来るでしょうか？ 最近オゾンホールが小さくなってきたとの報道もありますが。

偏西風の蛇行はいろいろな要素で発生し、「蛇行」は南北間の熱の輸送を伴うため、普段と異なる状況が表れやすい。地球温暖化予測によれば、偏西風そのもの(ジェット気流)が将来は現在の位置よりも南下すると予測されている。例えば、このことが、台風の発生位置が東側にずれる、という予測にもつながっている。

蛇行を発生させる要因として、風の強さが南北方向で極端に変わり(これを”風のシアーが強い”と言う)、力学的に不安定となるケースや、ヒマラヤ山脈やロッキー山脈のような地形による強制蛇行、などがある。また、本日の講演で触れたように、テレコネクションで気圧配置が変わることも要因となる。

温暖化の進行速度を遅くするため(将来的には止めるため)、「産業革命以前に比べて世界の気温上昇を1.5°C以内に抑える」という目標は、偏西風の(人為起源による)異常な振る舞いを引き起こさせないための行動の1つでもある。

なお、蛇行は必ずしも温暖化とは無関係に自然変動の中でも起こりうるので、大気や海洋の現象の発生・維持メカニズムの理解を通して、自然変動によるものなのか、温暖化の影響なのかを区別しつつ、予測と対策を練ることが肝要。

## Q & A (事前質問)

- ✓ 温室効果ガスとしてCO<sub>2</sub>が目の敵にされていますが、地球温暖化係数（GWP）はメタンの25分の1と云われています。そう考えると都市ガスからプロパンに変えた方が良いでしょうか？災害時にライフラインが止まる影響も小さいし。

GWPは温室効果ガスが大気中に放出されたときに、一定時間内に地球に与える放射エネルギーの積算値をCO<sub>2</sub>に対する比率で見積もったもので、「単位質量」当たりで求める。積分時間を100年とした場合、メタンのGWPは約28。

**温室効果 = GWP × 大気中濃度の増加量**

であることから、大気中にどれだけ存在しているか、濃度(の増加量)も重要になる。WMO温室効果ガス年報第18号(気象庁和訳版: [https://www.data.jma.go.jp/env/info/wdcgg/GHG\\_Bulletin-18\\_j.pdf](https://www.data.jma.go.jp/env/info/wdcgg/GHG_Bulletin-18_j.pdf))によれば、2021年の世界平均濃度と前年からの増加量は、メタンが1908±2 ppb / 18 ppb、CO<sub>2</sub>が415.7±0.2 ppm / 2.5 ppmなので、最大の効果を有するのはCO<sub>2</sub>となる。

また、メタンは光化学反応のため大気中の寿命が約12年(に対し、CO<sub>2</sub>は状態が安定せず1つの数値にならないが、50%は約100年、20%は1000年とも報告されている)。

そうは言っても、**温室効果の高いメタンの削減は重要**。

ちなみに、プロパンも原油が材料で、原油とLNGの(同じ熱量を得るための)CO<sub>2</sub>排出量の比は7.5:5.5なので、いろいろな要素を加味して比較する必要がありそう...。ライフラインに対する影響という発想はユニーク。ただ、プロパンは空気より重いので(滞留し、外に出ていきにくいので)、2次災害への留意も必要と思われる。