

2009 年度 環境学研究科 水の環境学

アジアモンスーンと気候変動

<http://mausam.hyarc.nagoya-u.ac.jp/~yasunari/index.html>

安成 哲三

(名古屋大学地球水循環研究センター)

1. 水惑星地球の気候システム
2. 水循環系としてのアジアモンスーン
3. モンスーンと砂漠ーチベット高原の役割
4. アジアにおける最近の降水量変動
5. 「地球温暖化」でアジアの降水はどう変化するか？

5月20日:

アジアモンスーンと気候変動

私たちは、アジアモンスーン気候が卓越する地域に住んでいる。アジアモンスーンは、ユーラシア大陸と太平洋・インド洋のあいだに季節的に生じる熱的コントラストにより形成される巨大な大気と水の循環系である。このアジアモンスーンは、東・東南・南アジア地域に、豊かな水をもたらし、稲作を中心とする農業と、さまざまな産業活動を可能にし、この地域に世界の総人口の60%の人々が居住することを可能にしている。このアジアモンスーンとその変動は、一方で、洪水や旱魃をもたらし、大きな自然災害をもたらしている。この講義では、アジアモンスーンの変動がどのような機構で生じているか、その変動の予測はどこまで可能か、また、進行しつつあるとされる「地球温暖化」で今後のアジアモンスーン気候はどう変化する可能性があるか、などについて講義をおこなう。

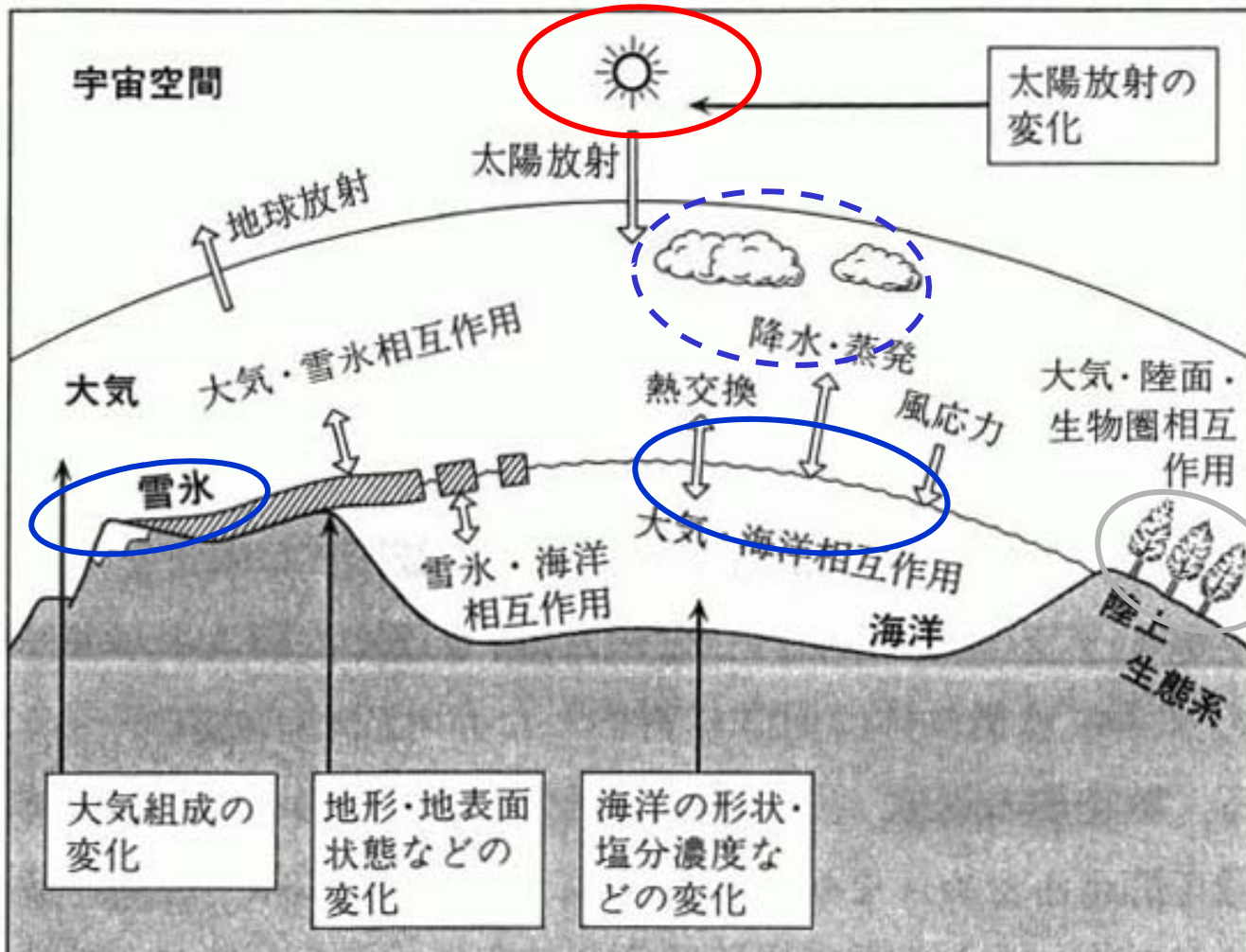
なぜアジアモンスーンか？

- 地球気候システムにおける巨大な水・エネルギー循環系であり、グローバルな気候とその変動に大きな役割を果たしている。
- アジアモンスーン気候影響下に、地球人口の約60%が集中し、豊富な水資源を利用する一方、水災害に苦しんでいる。
- 「地球温暖化」はアジアモンスーンをどう変化させるか？（大きな不確定性）

この画像は、平成20年4月6日（日本時間）に「かぐや（SELENE）」ハイビジョンカメラ（望遠）で撮影された動画の一部を静止画像として切り出したもので、上下をさかさまにしたもの。地球の右上には北アメリカ大陸、中央は太平洋が見えます。

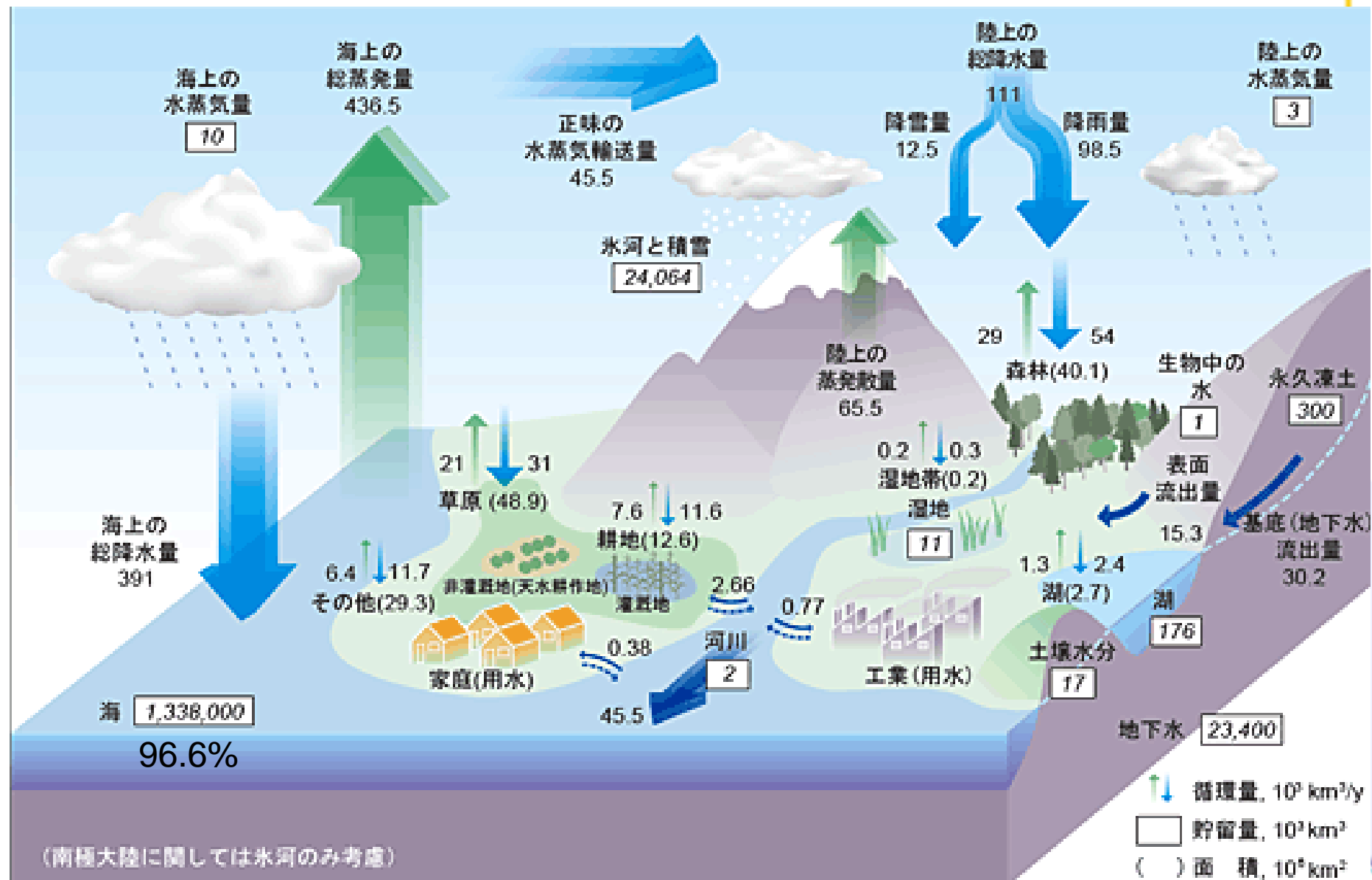


複雑な地球の気候システム



気候の変動・変化は、気候システム内の水循環と水の相変化がからむフィードバックプロセスに、強く依存している！

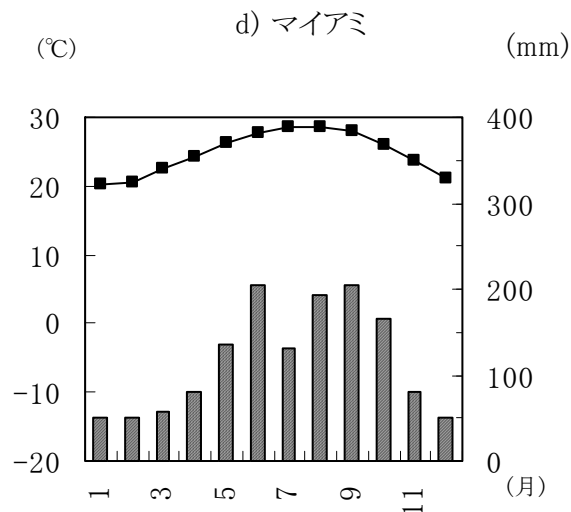
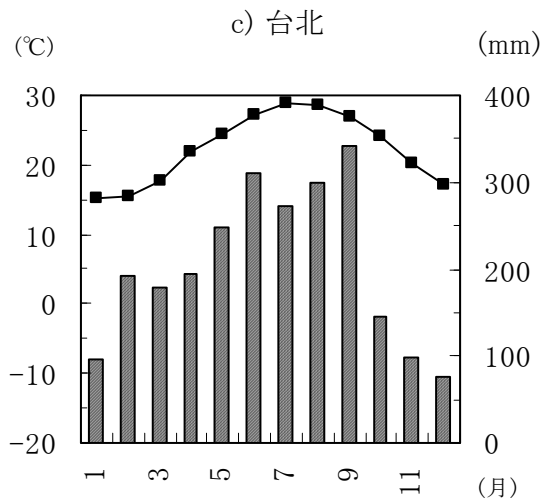
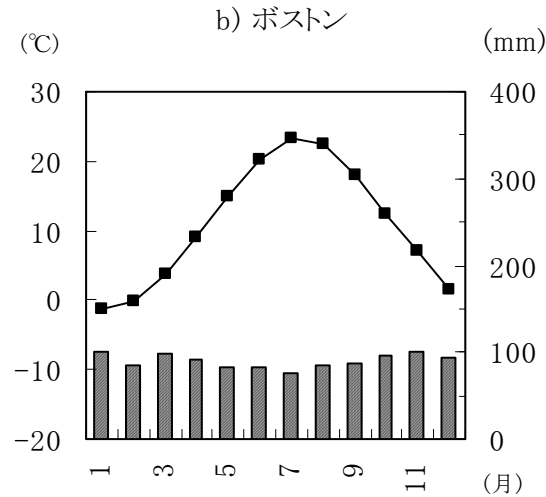
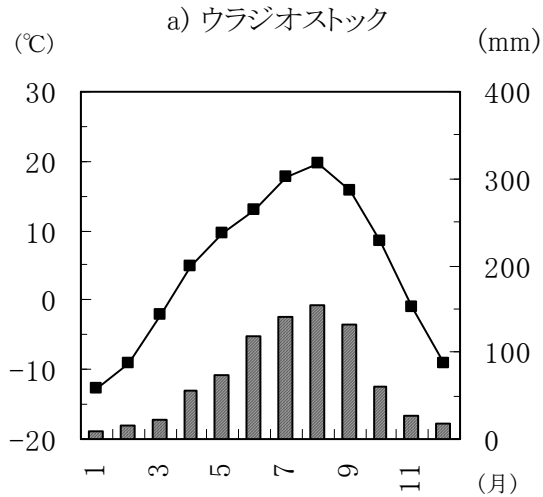
地球の水貯留と水循環



日本の気候の特徴は？

- 湿潤な気候である — 雨(雪)が多い
- 季節の変化が大きい — 夏は暑く、冬は寒い
 - 梅雨、太平洋高気圧、秋雨、冬の日本海側降雪
- 季節風の卓越
 - 夏は南西・南東風、冬は北西風
- 天気の変化
 - 夏と冬は持続性が強い
(太平洋高気圧とシベリア高気圧)
 - 春と秋は変わりやすい (移動性高低気圧)

世界各地の気温と降水量の季節変化

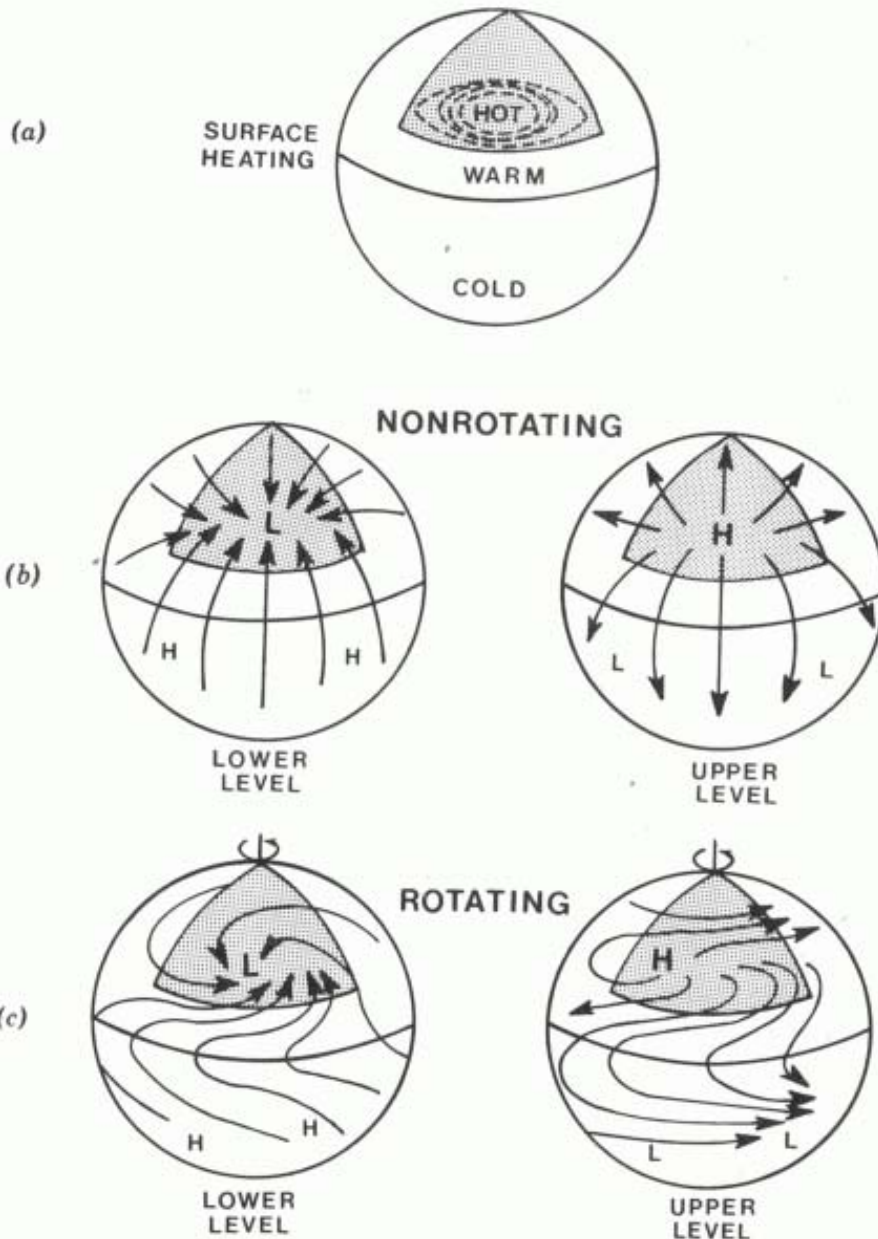


アジアモンスーンとは？

ユーラシア大陸と

周辺のインド洋・太平洋のあいだの
温度差が大きな役割を果たしている

古典的なモンスーン循環の模式図



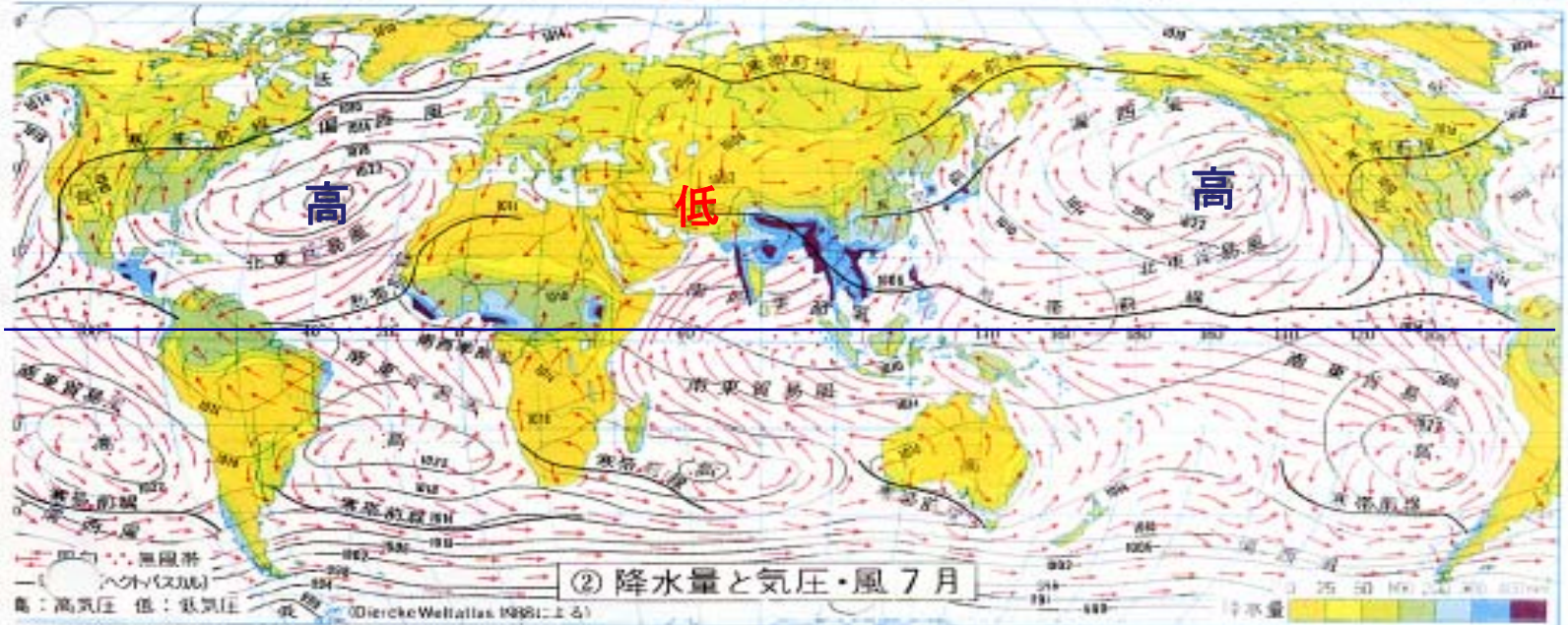
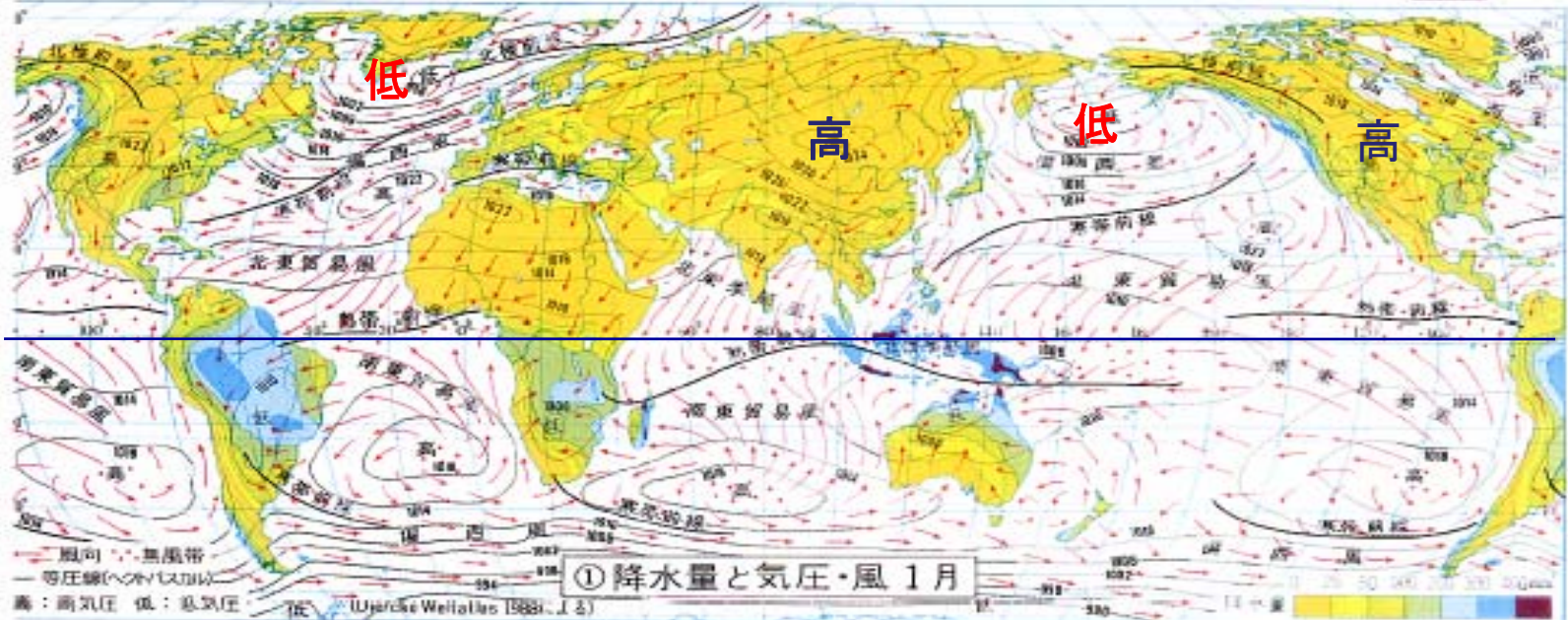
- 大陸と海洋のあいだの季節的な熱的コントラストで形成された気圧勾配が季節風を形成する。
- 加熱された大気は下層が低気圧、上層は高気圧となる。
- 地球の自転効果(コリオリ力)により、風系は変形する。

(Webster, P.J.
in Fein and Stephens, 1987)

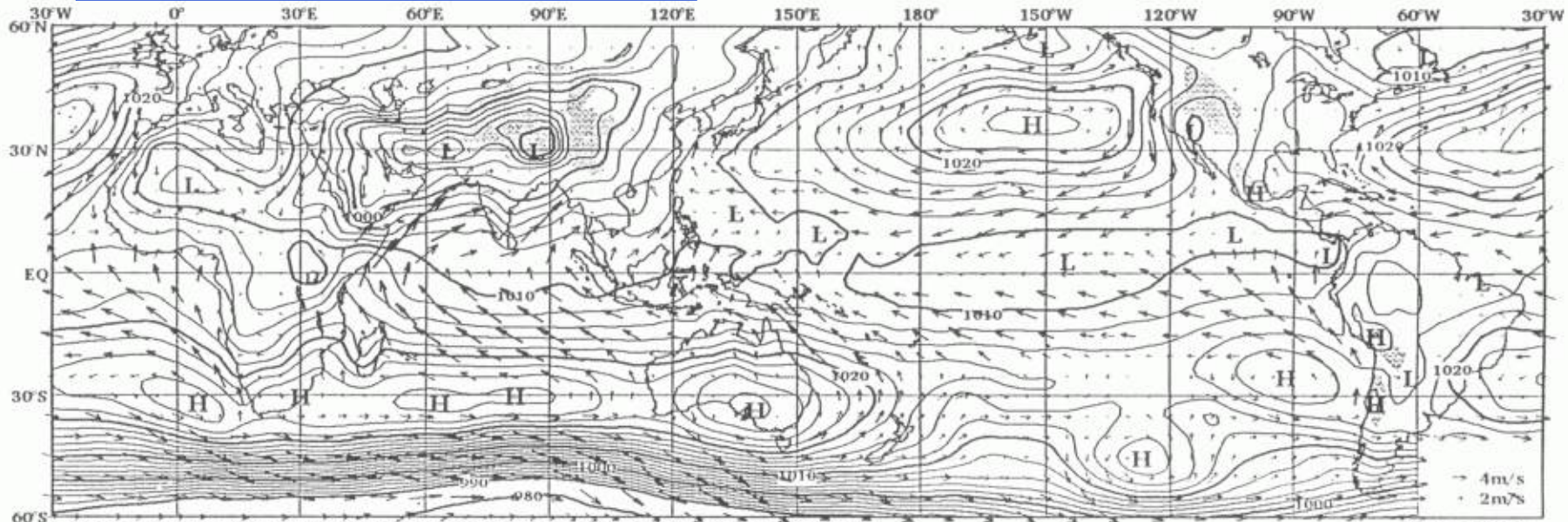
アジアモンスーンは巨大な大気・水循環系である。

降水量と気圧・風

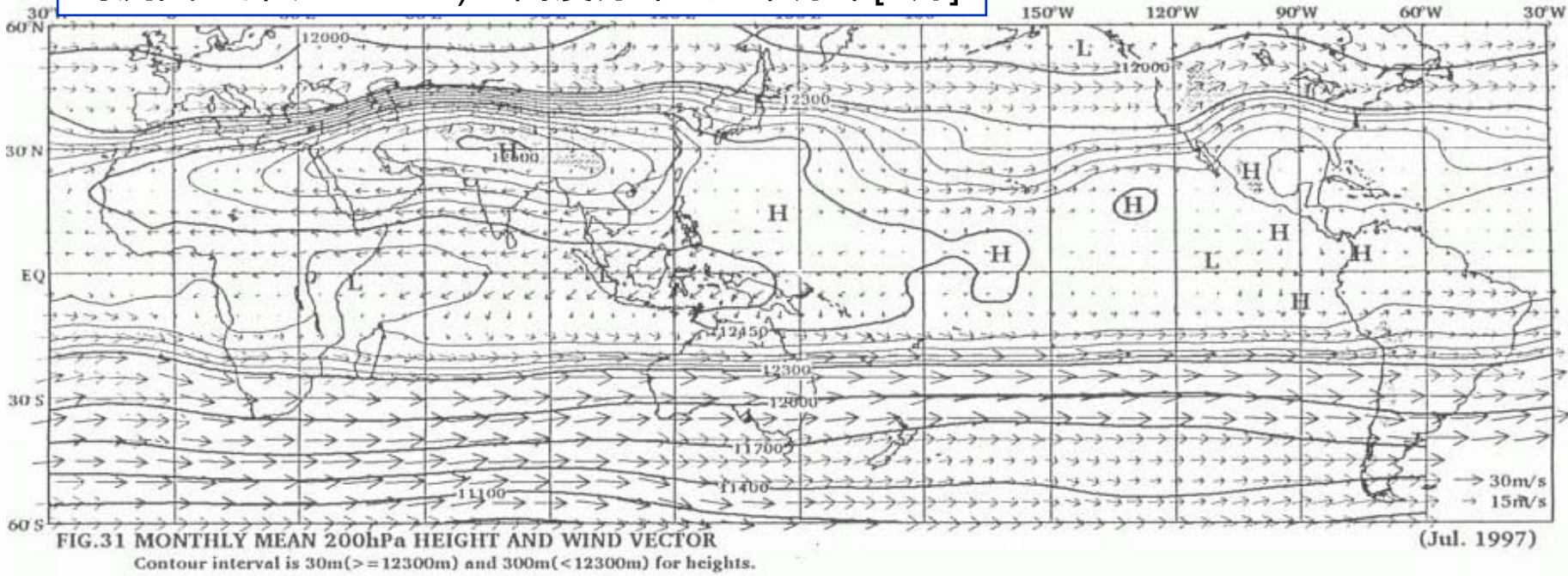
自然環境 [8] 93



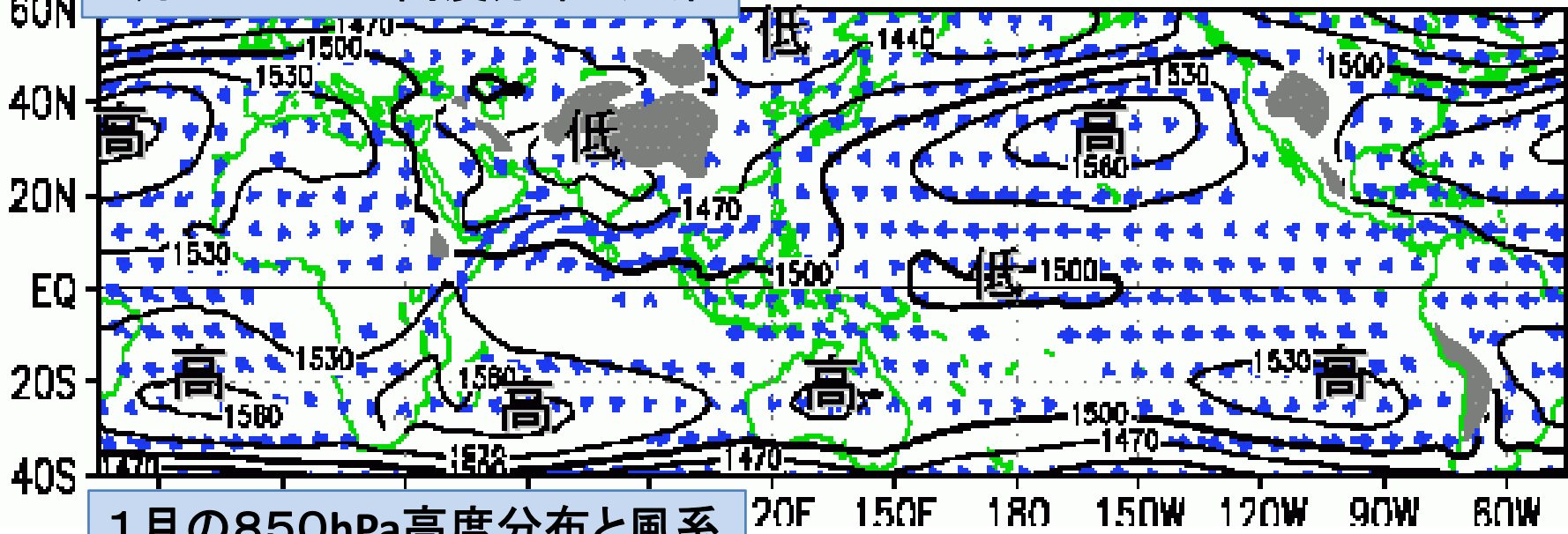
地上の気圧分布と風系分布[7月]



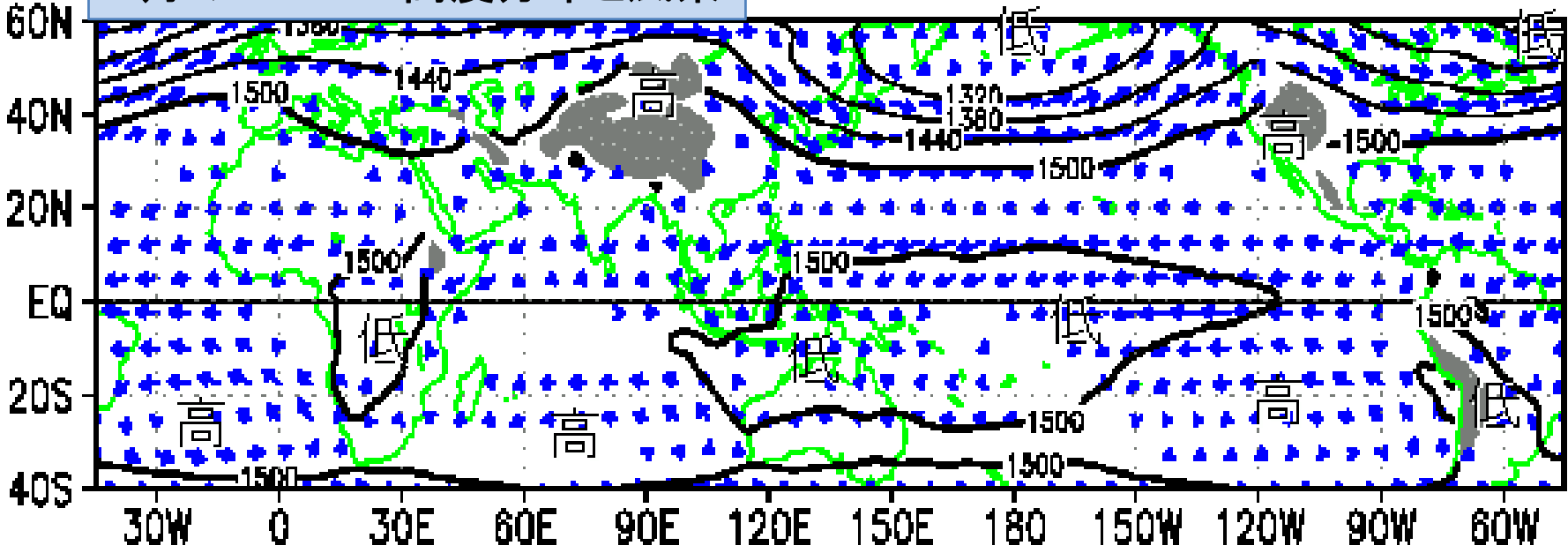
対流圏上部(200hPa)の高度分布と風系分布[7月]

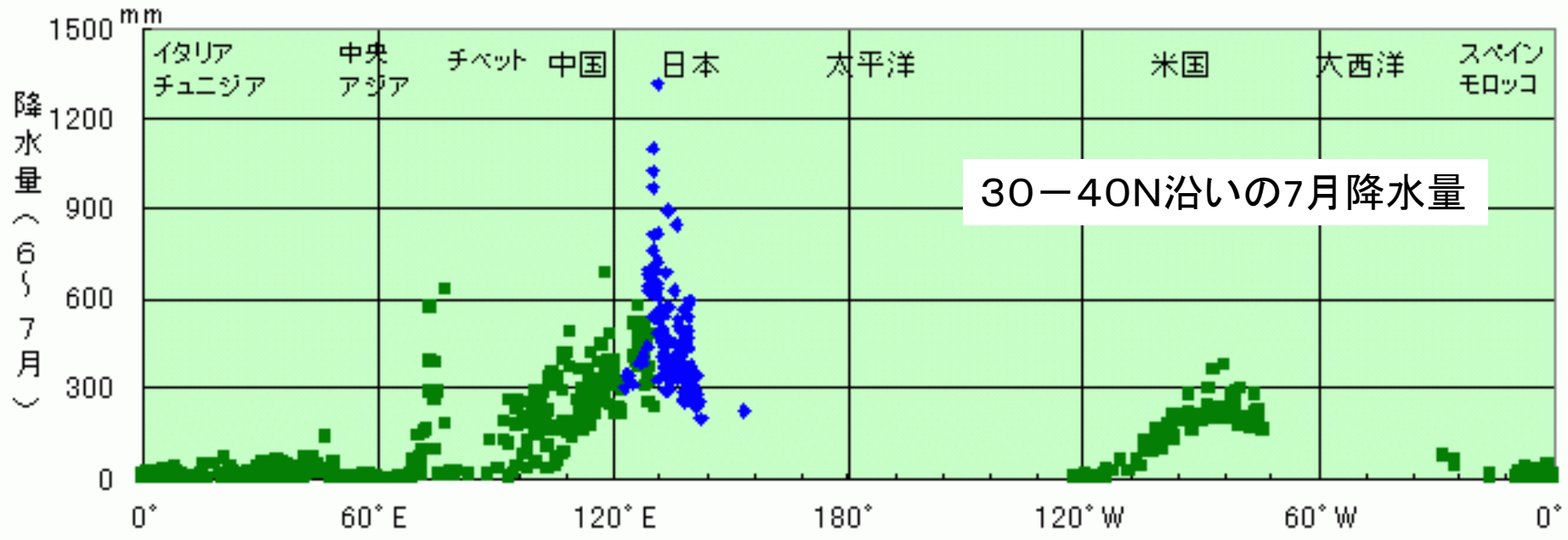
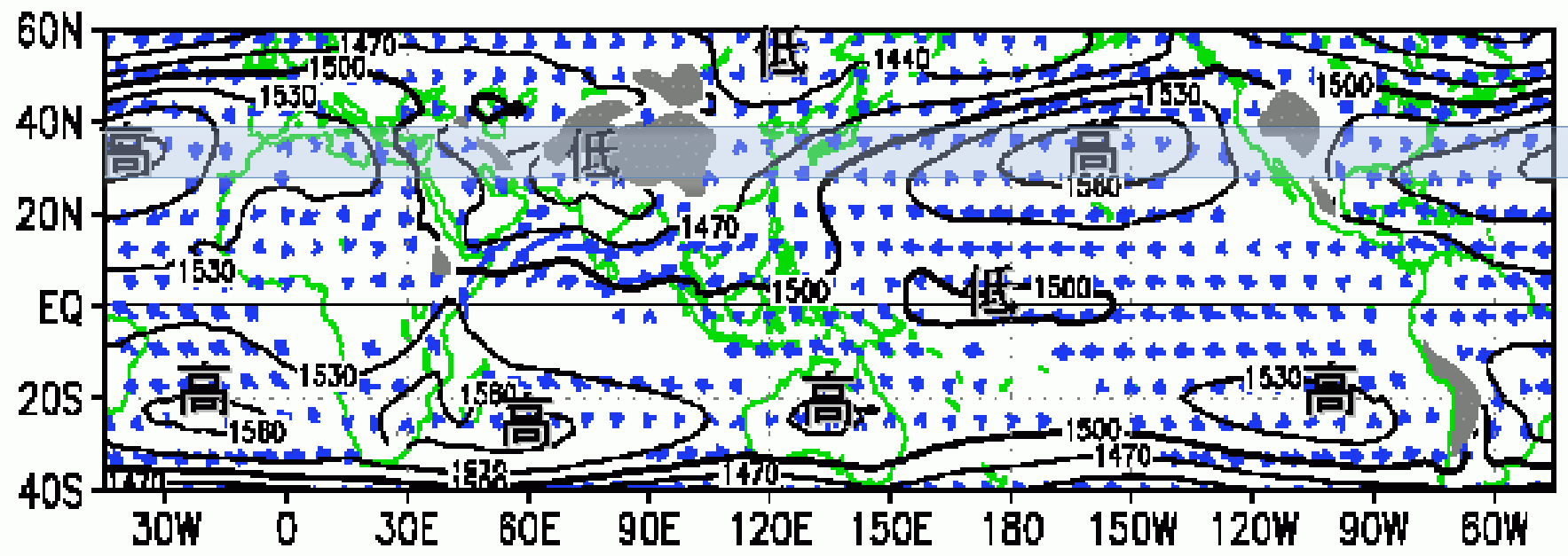


7月の850hPa高度分布と風系



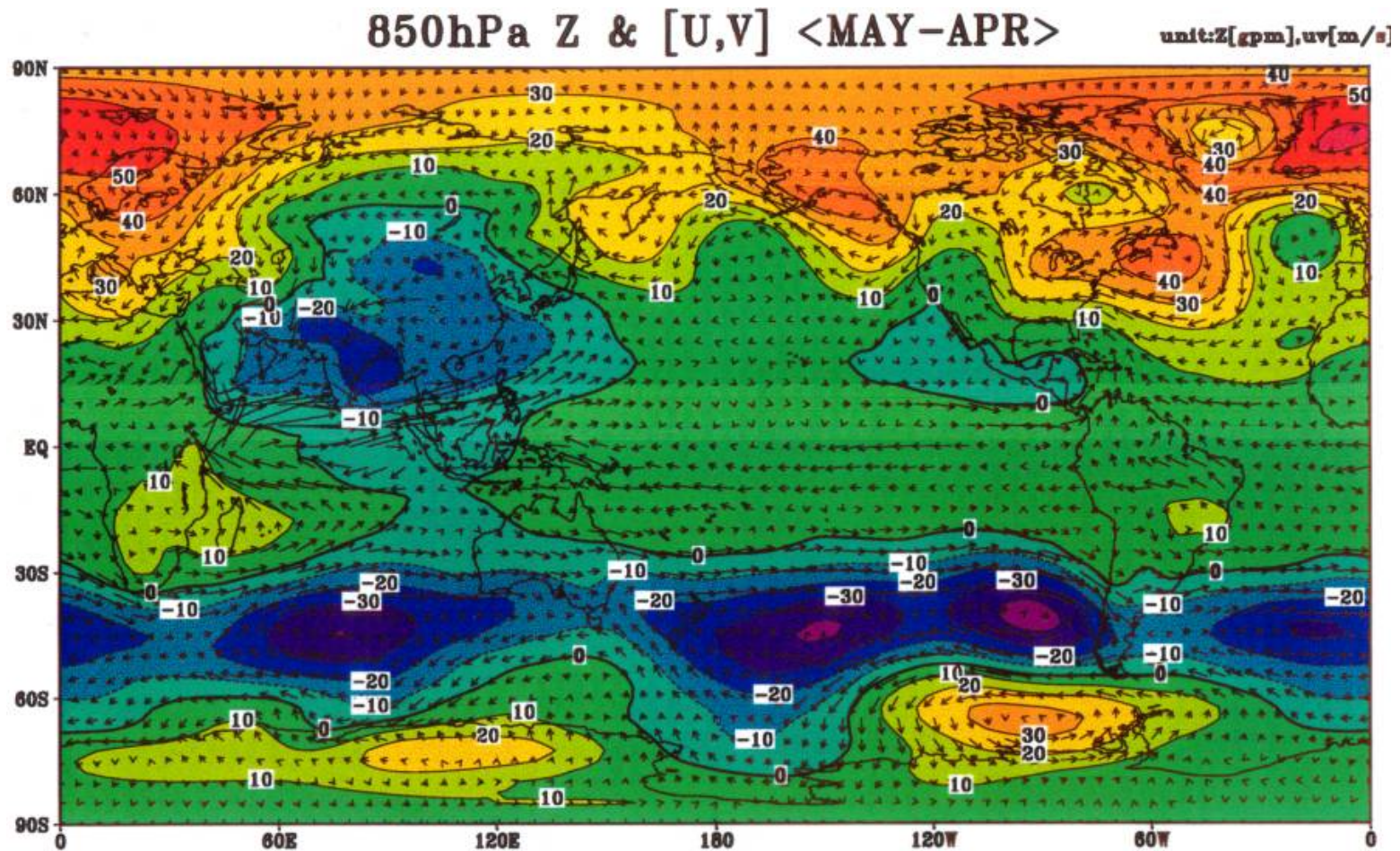
1月の850hPa高度分布と風系





モンスーンは季節変化そのものである

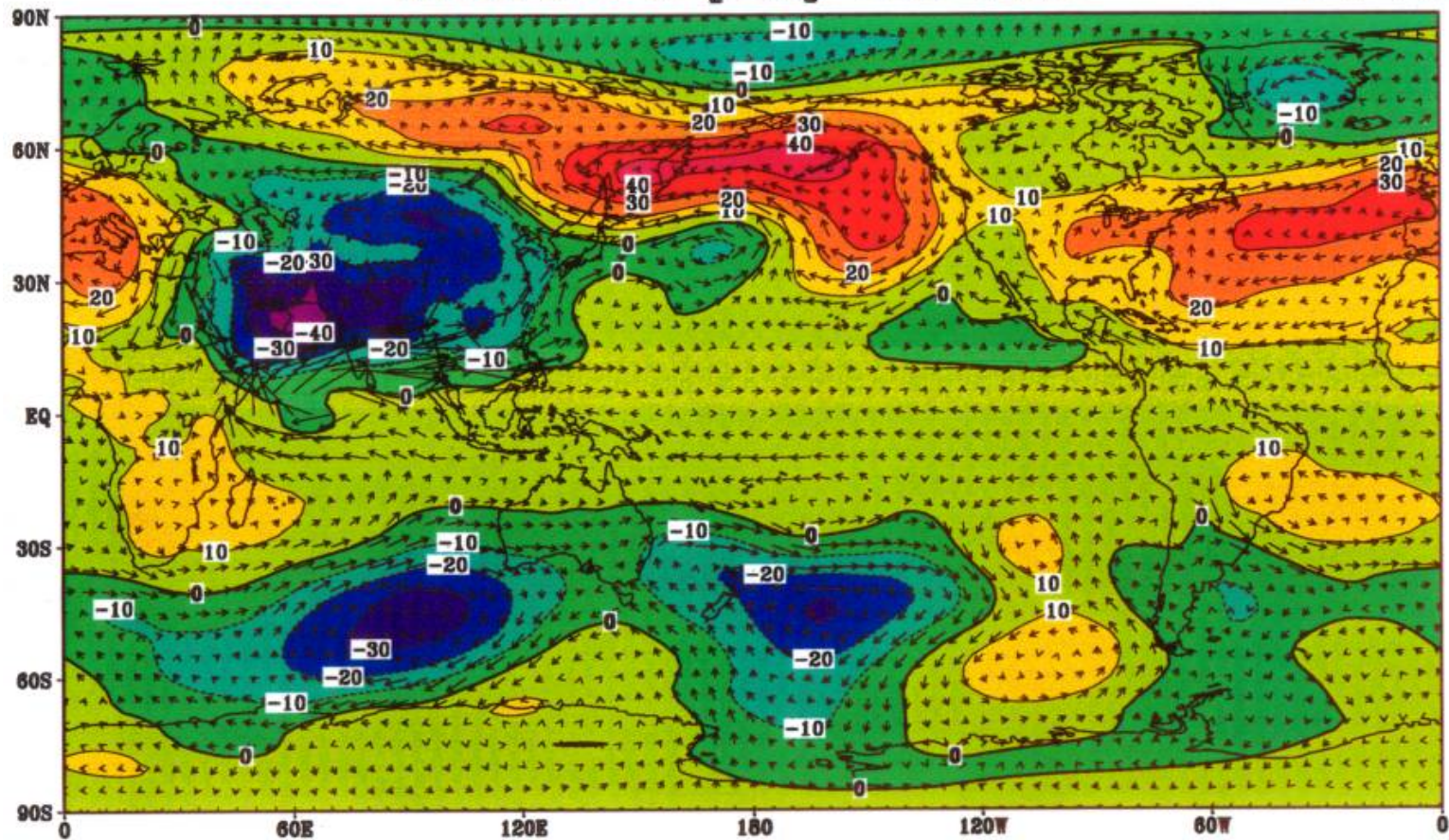
気圧(950hPa高度)の季節変化 5月-4月



気圧(950hPa高度)の季節変化 6月—5月

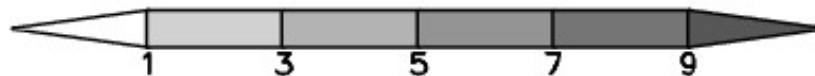
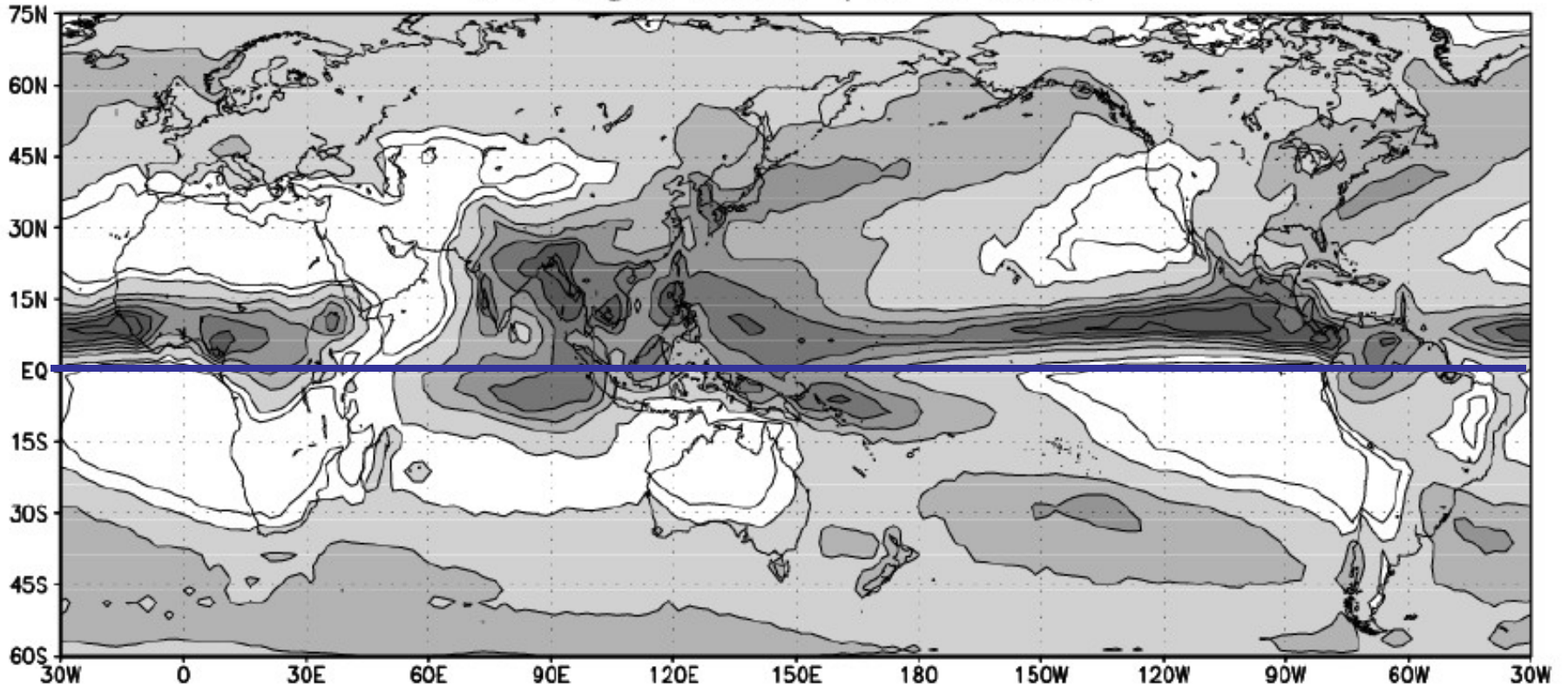
850hPa Z & [U,V] <JUN-MAY>

unit:Z[gpm],uv[m/s]



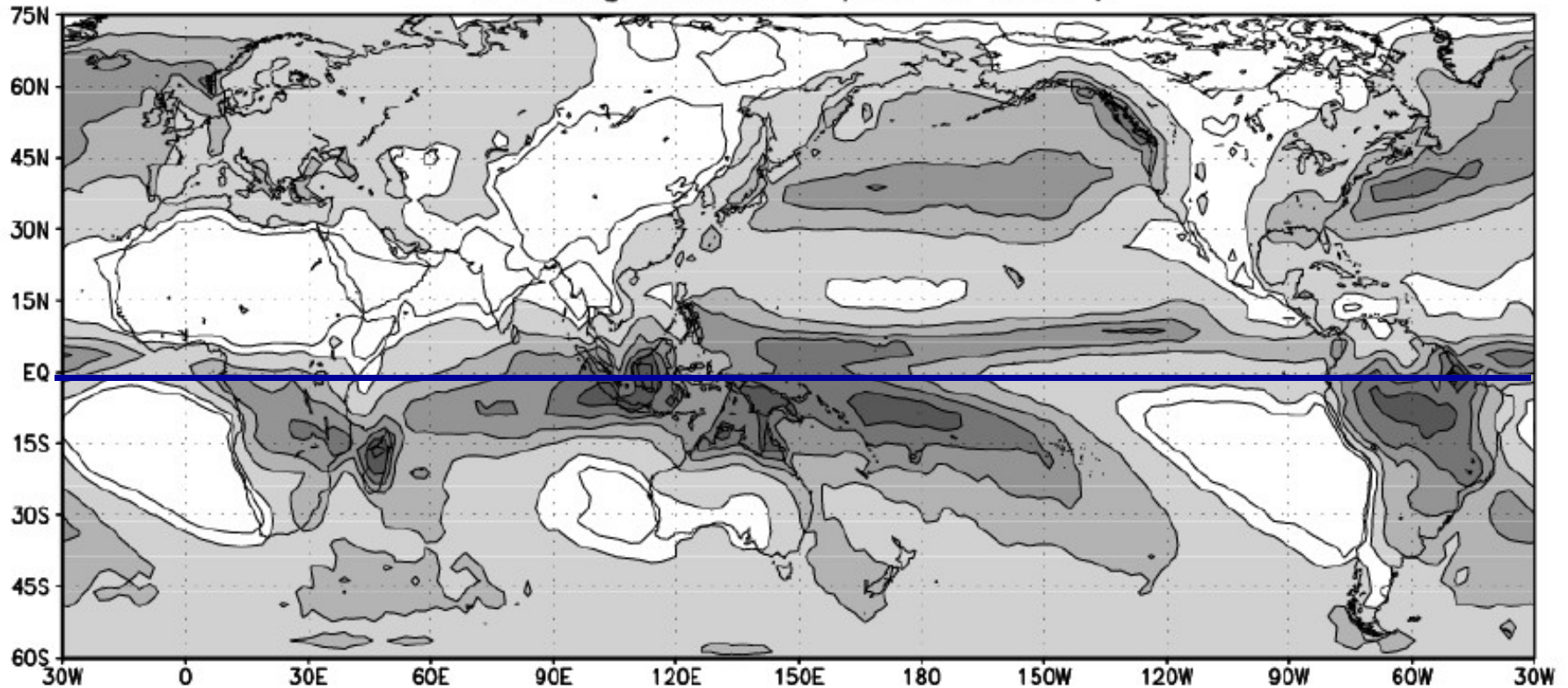
Global Precipitation (GPCP) JJA

Precipitation (GPCP, JJA)



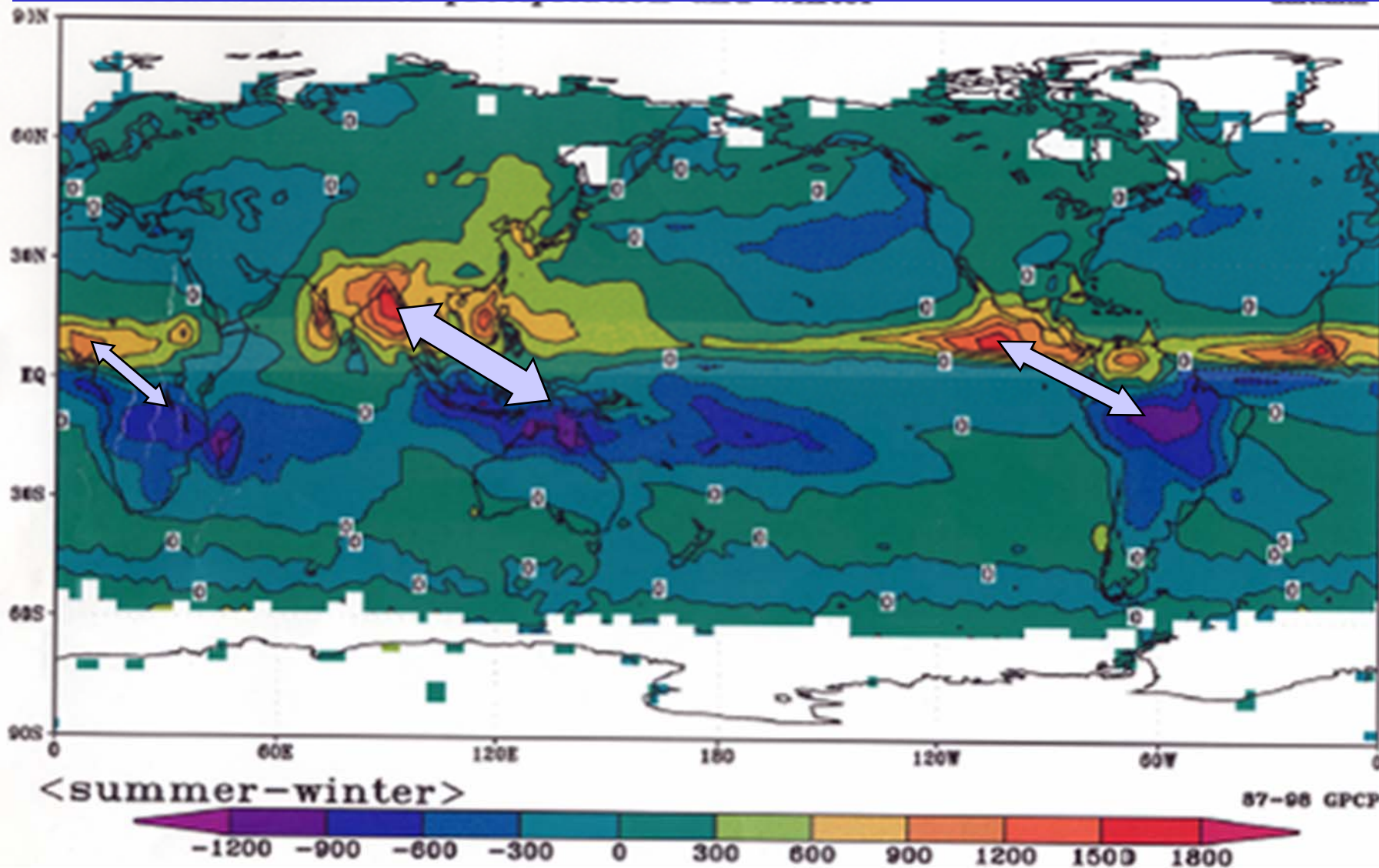
Global Precipitation (GPCP) DJF

Precipitation (GPCP, DJF)

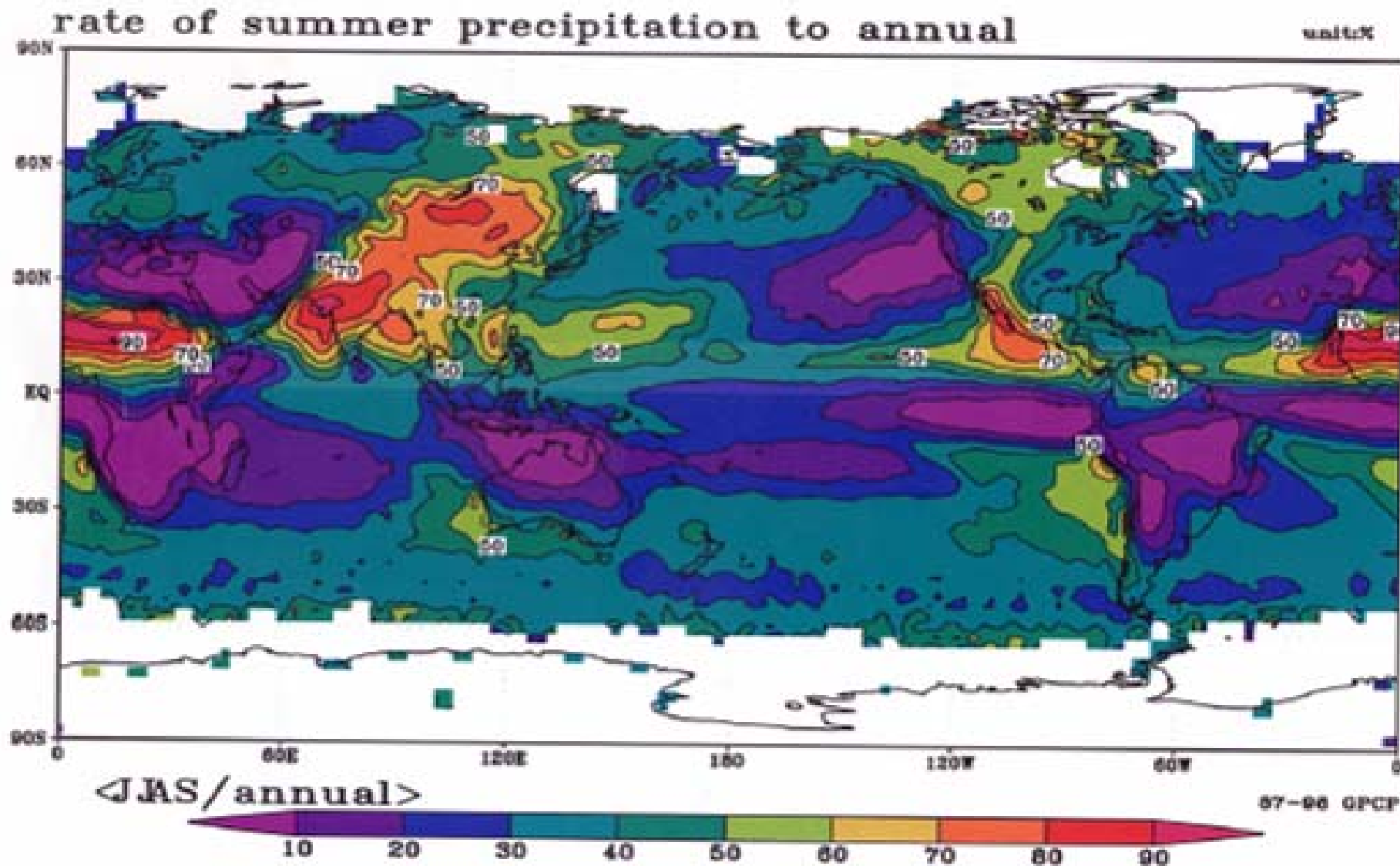


アジアモンスーンは大気・水循環の大きな季節変化である

降水量の季節変化 夏季(JJAS)ー冬季(DJFM)



夏季(JJAS)降水量の年降水量に対する比

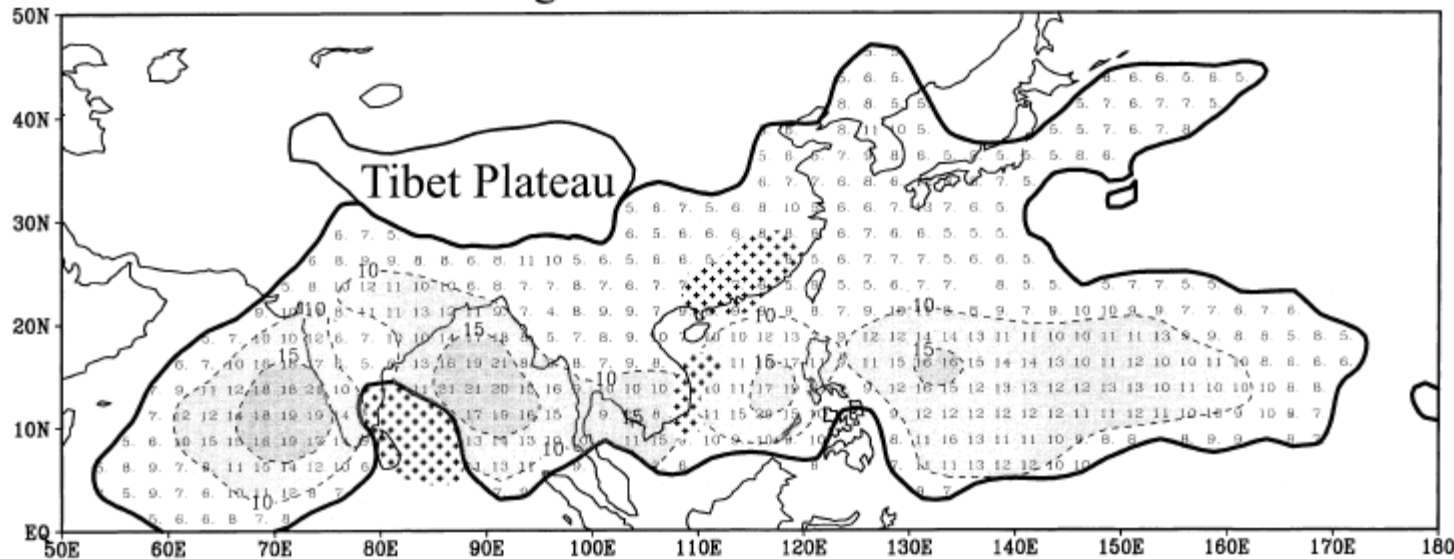


降水量(対流活動)の季節的な振幅と位相からみた

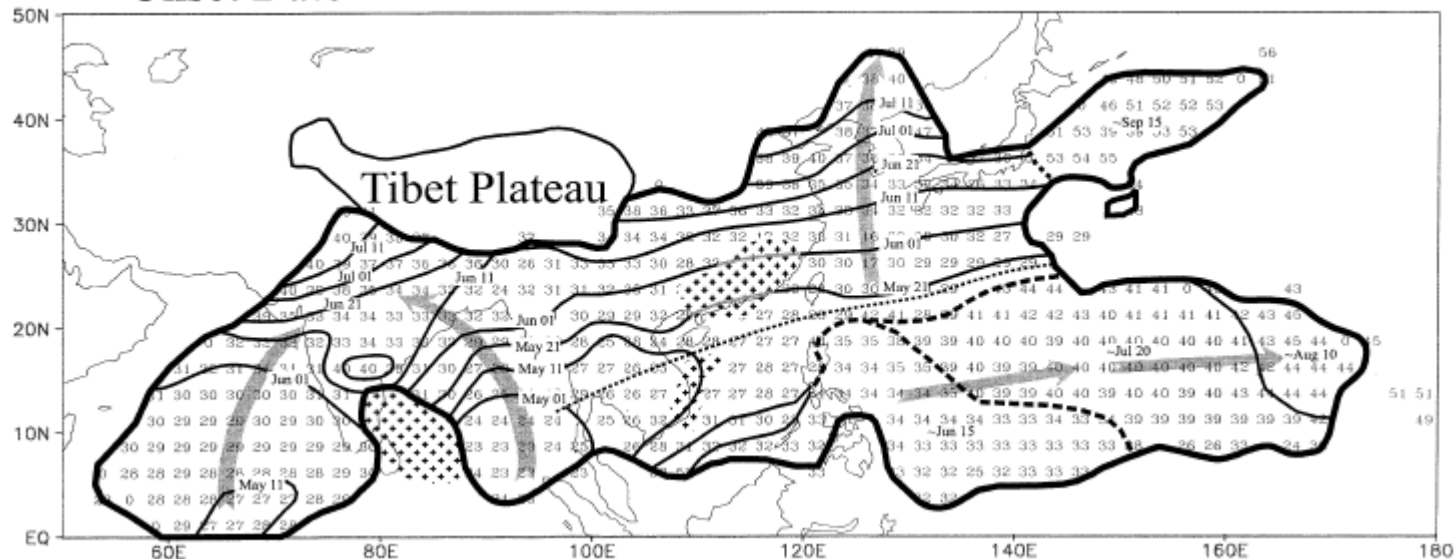
夏季アジアモンスーン

(Wang and Ho, 2002)

Monsoon Annual Range

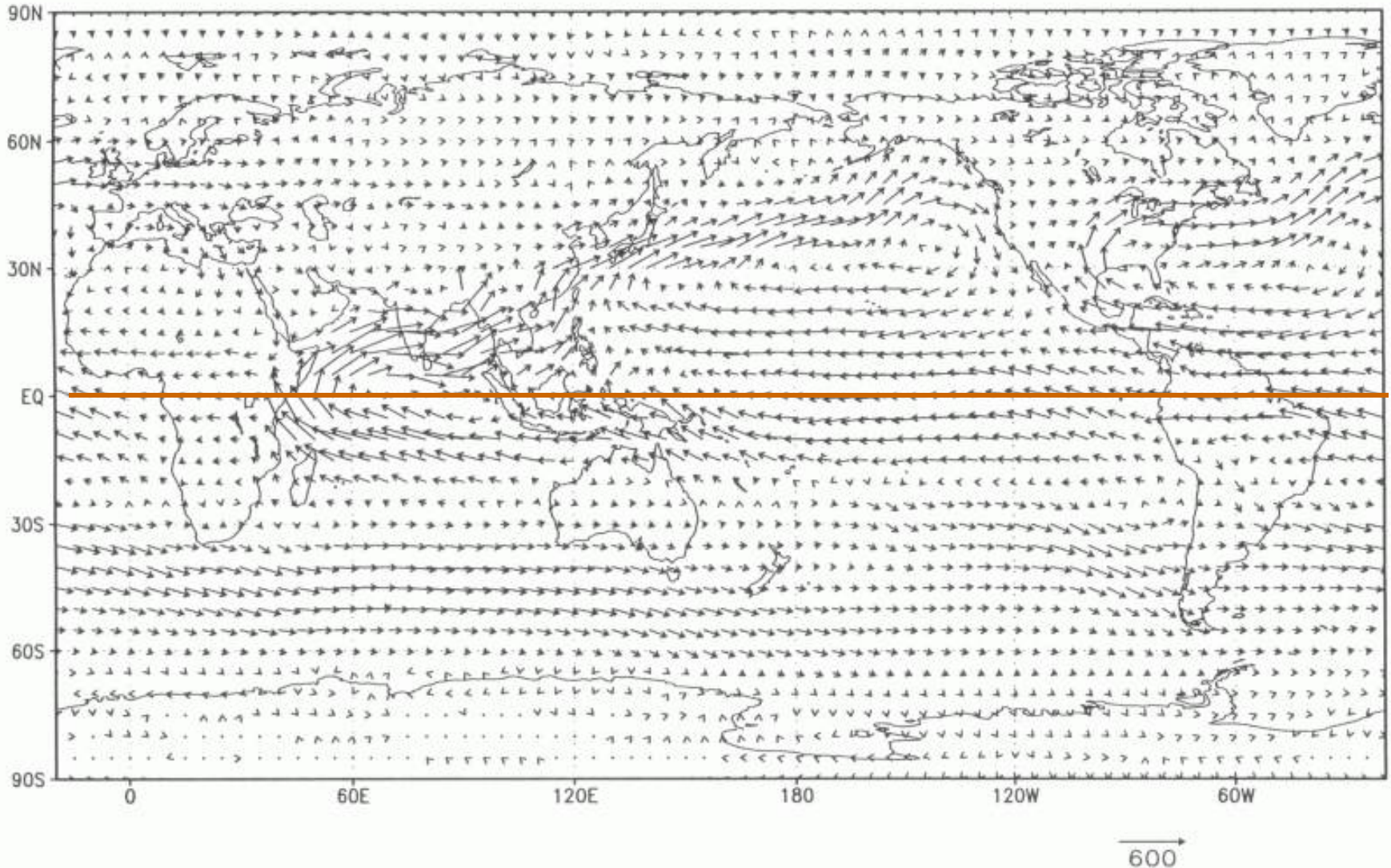


Onset Date



海陸分布だけではなく、モンスーン
の成立にとって重要な要素は
水(蒸気)の役割である

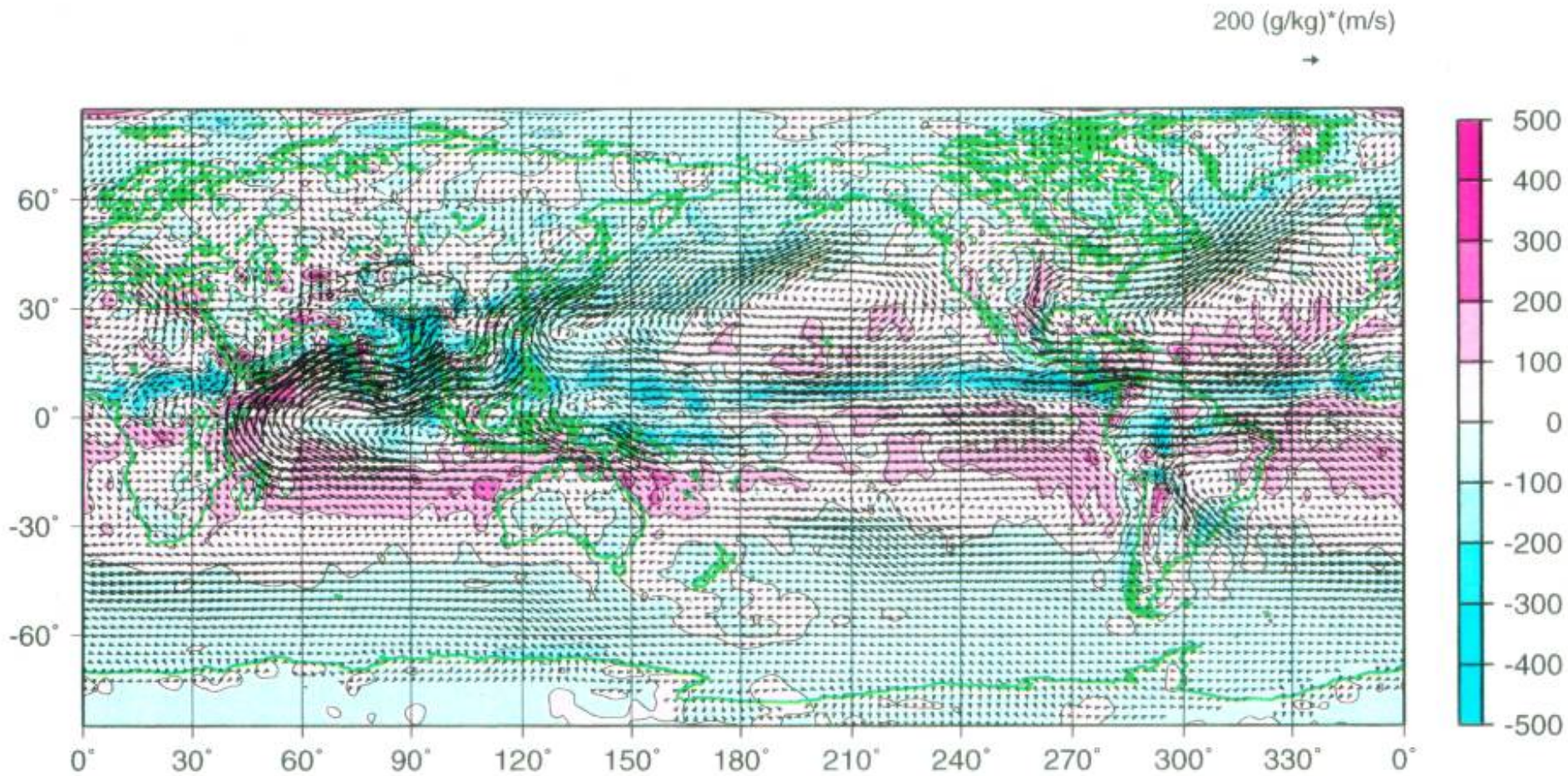
水蒸気輸送ベクトルの分布(6-8月)



全球の水蒸気フラックスと収束(7月)

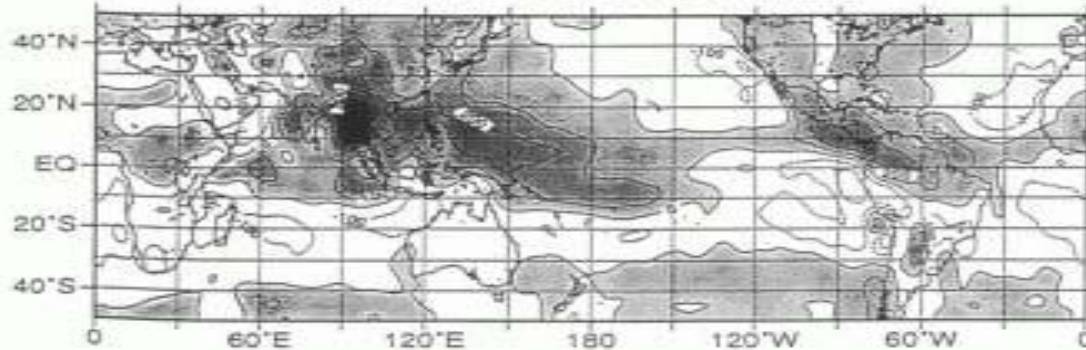
ECMWF Re-analysis W.V. Flux and Divergence

5-year (1979-1984) averaged month=07

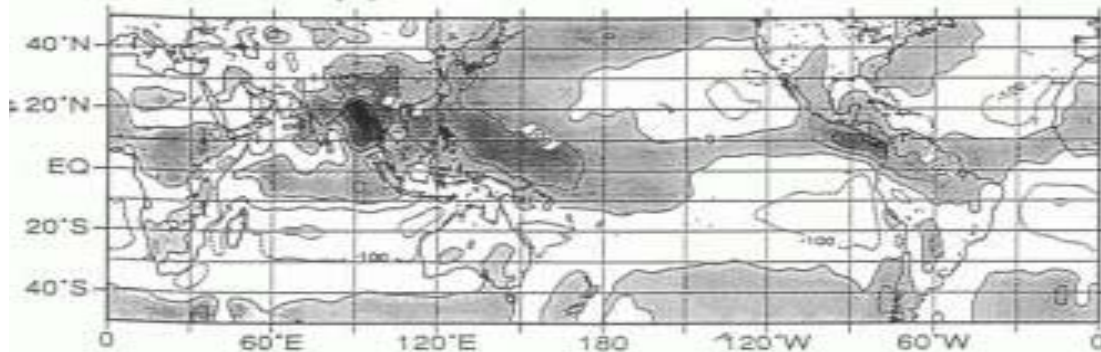


大気の非断熱加熱率(Q1)、潜熱加熱率(Q2)と対流活動の分布(北半球夏)

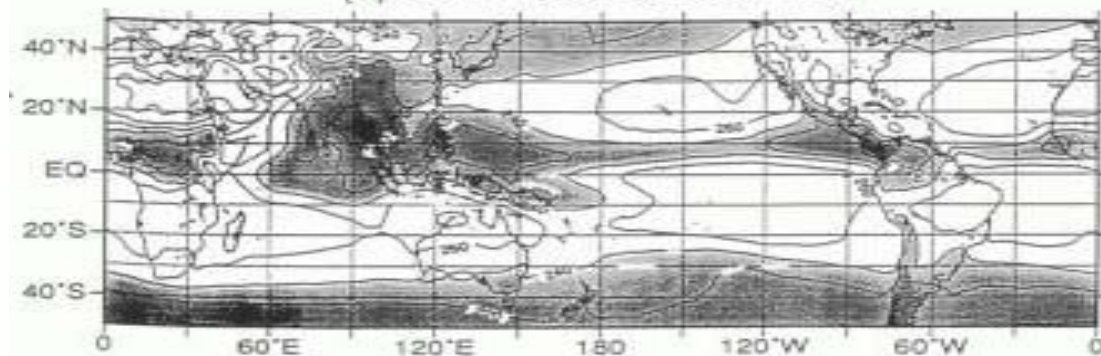
(a) $\langle Q1 \rangle$ 1980-94 Summer



(b) $\langle Q2 \rangle$ 1980-94 Summer



(c) OLR 1980-94 Summer



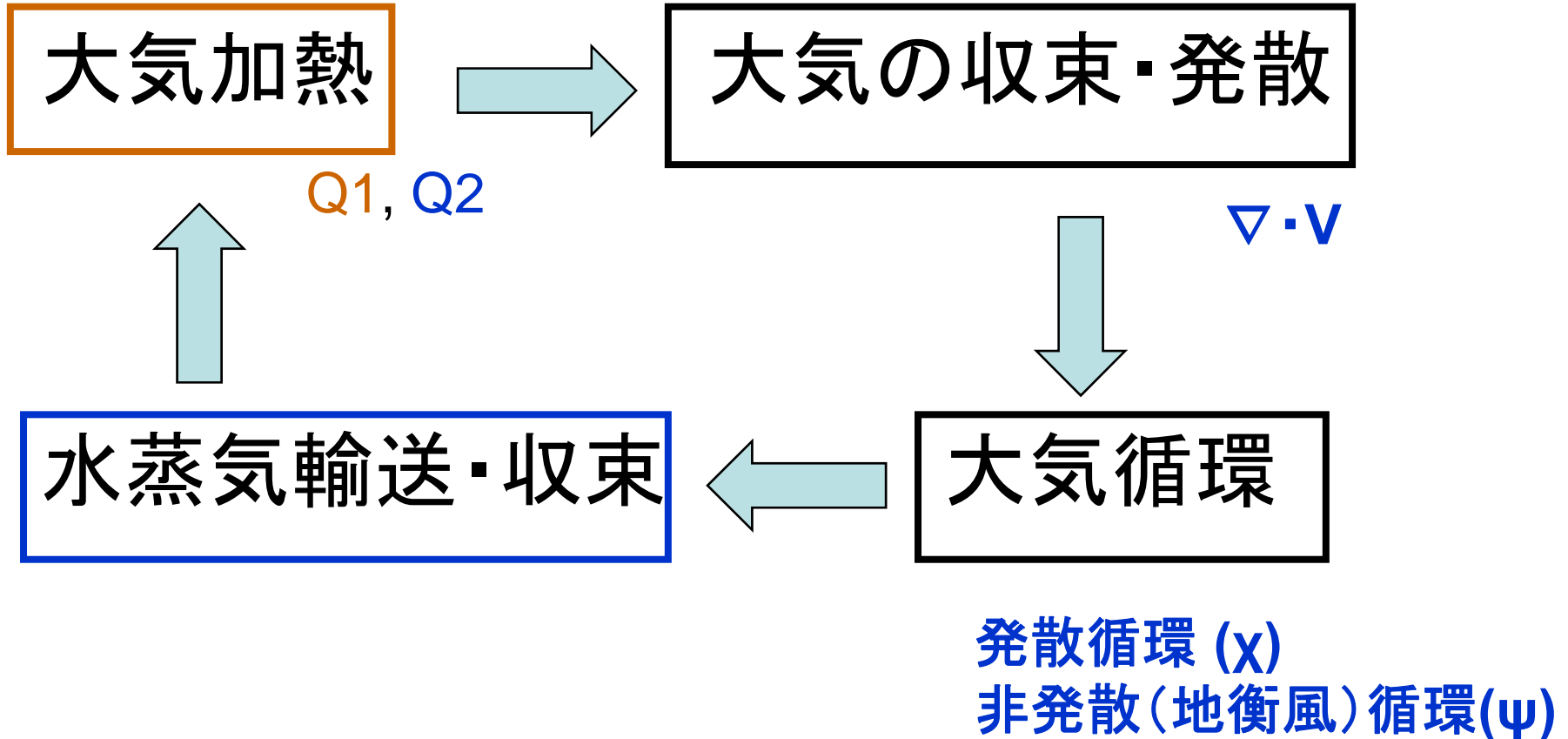
Q1

海洋から供給された水蒸気が陸周辺で凝結し、雲となり、雨を降らせると同時に潜熱を大気に放出し大気を加熱する

Q2

OLR

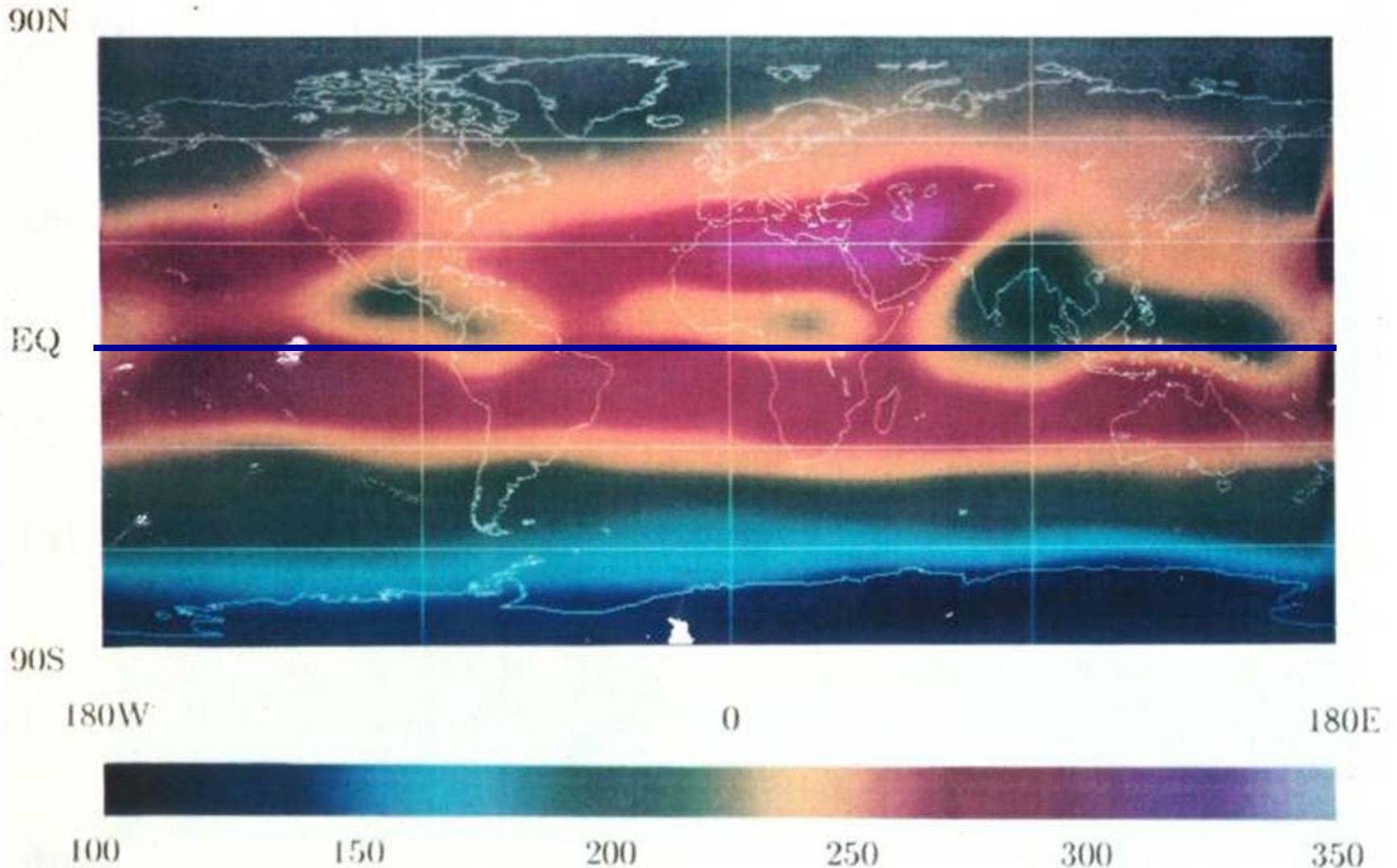
熱帯の大気・水循環システム



アジアモンスーンと砂漠気候

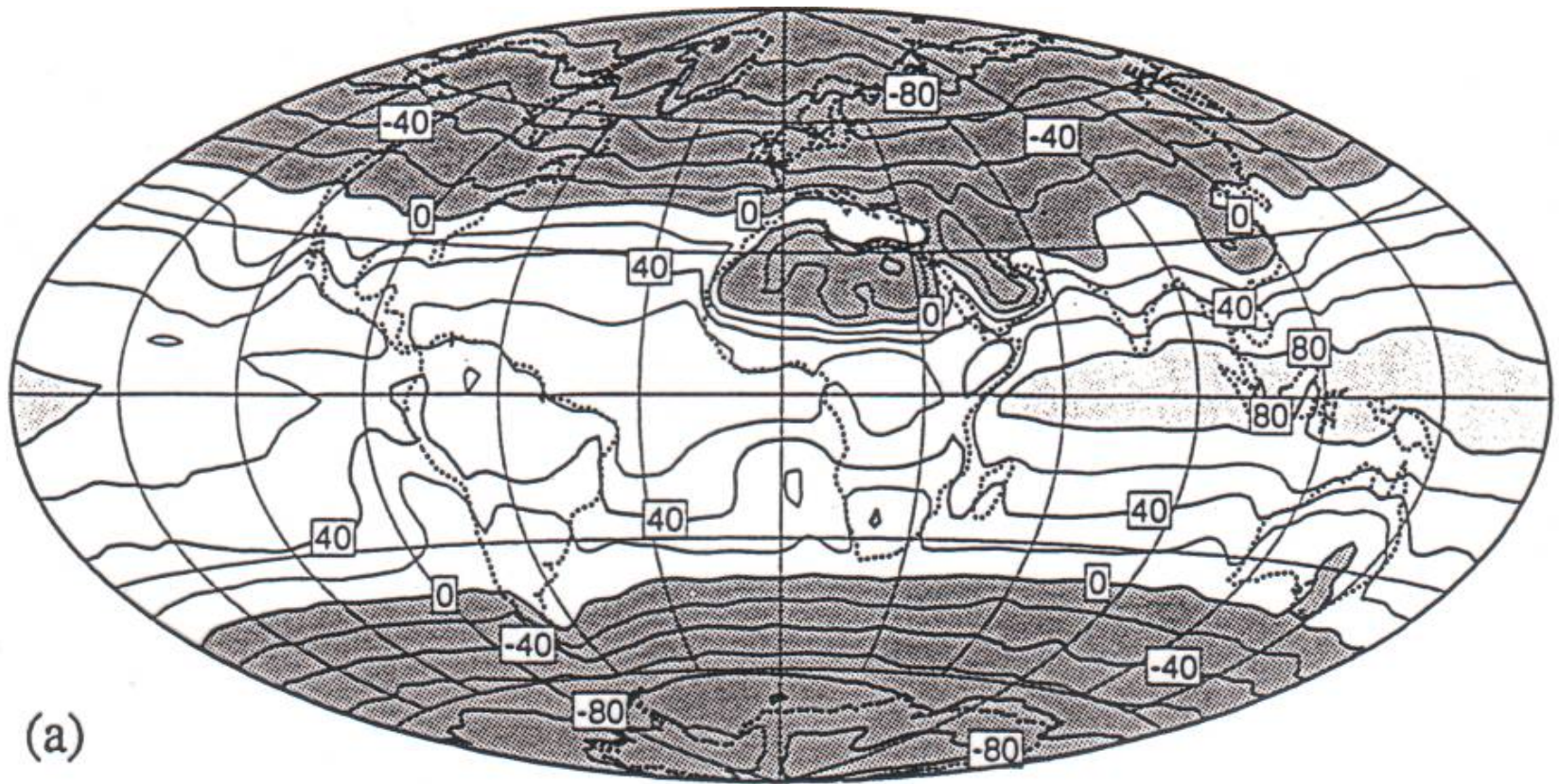
チベット高原が作り出す
気候の東西のコントラスト

外向赤外放射(OLR) からみた 雲の 全球分布 7月



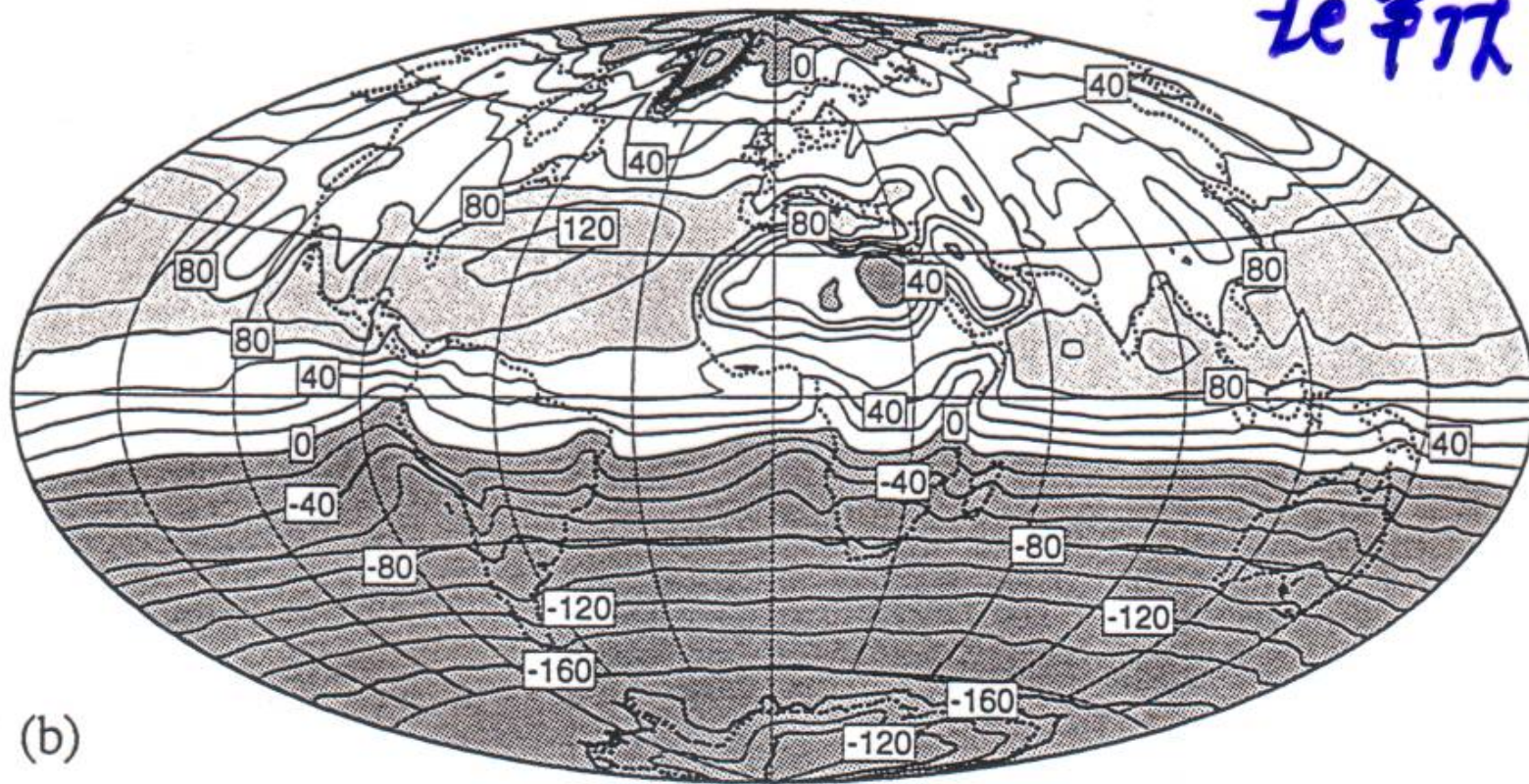
年平均の放射収支

(正味太陽放射収支 - 正味赤外放射収支)



北半球夏の正味放射収支

北半球夏



(b)

33.5Nに沿う平均気温の 経度・高度断面図

北半球夏

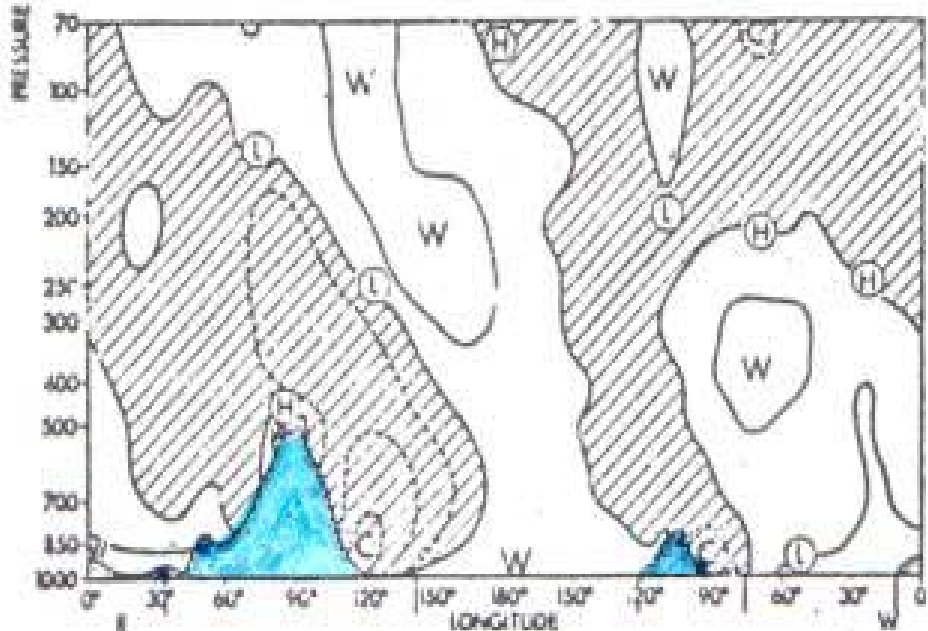
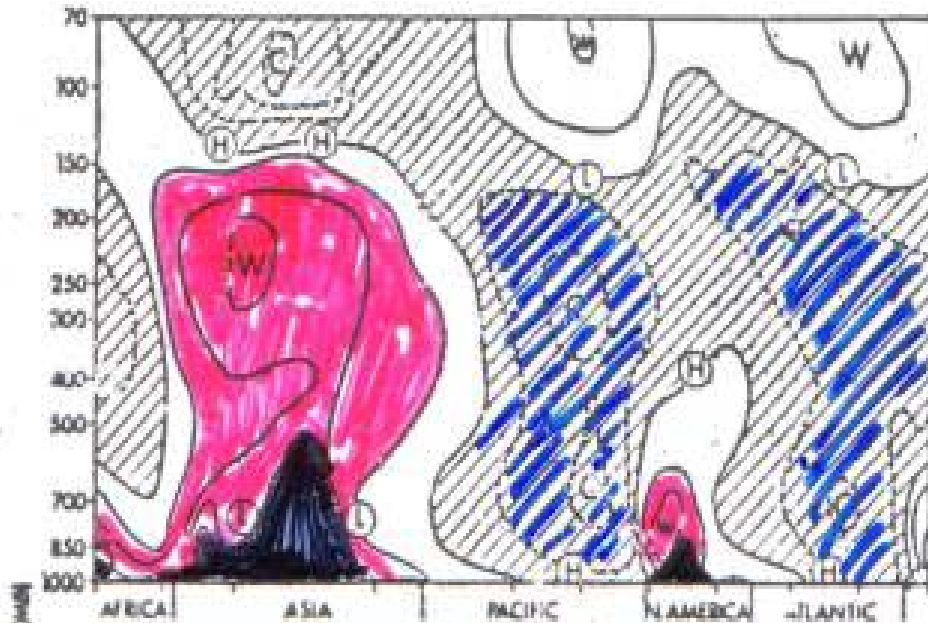


図 1.1 33.75°Nに沿う平均気温場の、経度・高度断面図 (偏差)

(上) 1979年夏 (6月～8月)

(下) 1978/79年の冬 (12月～2月)

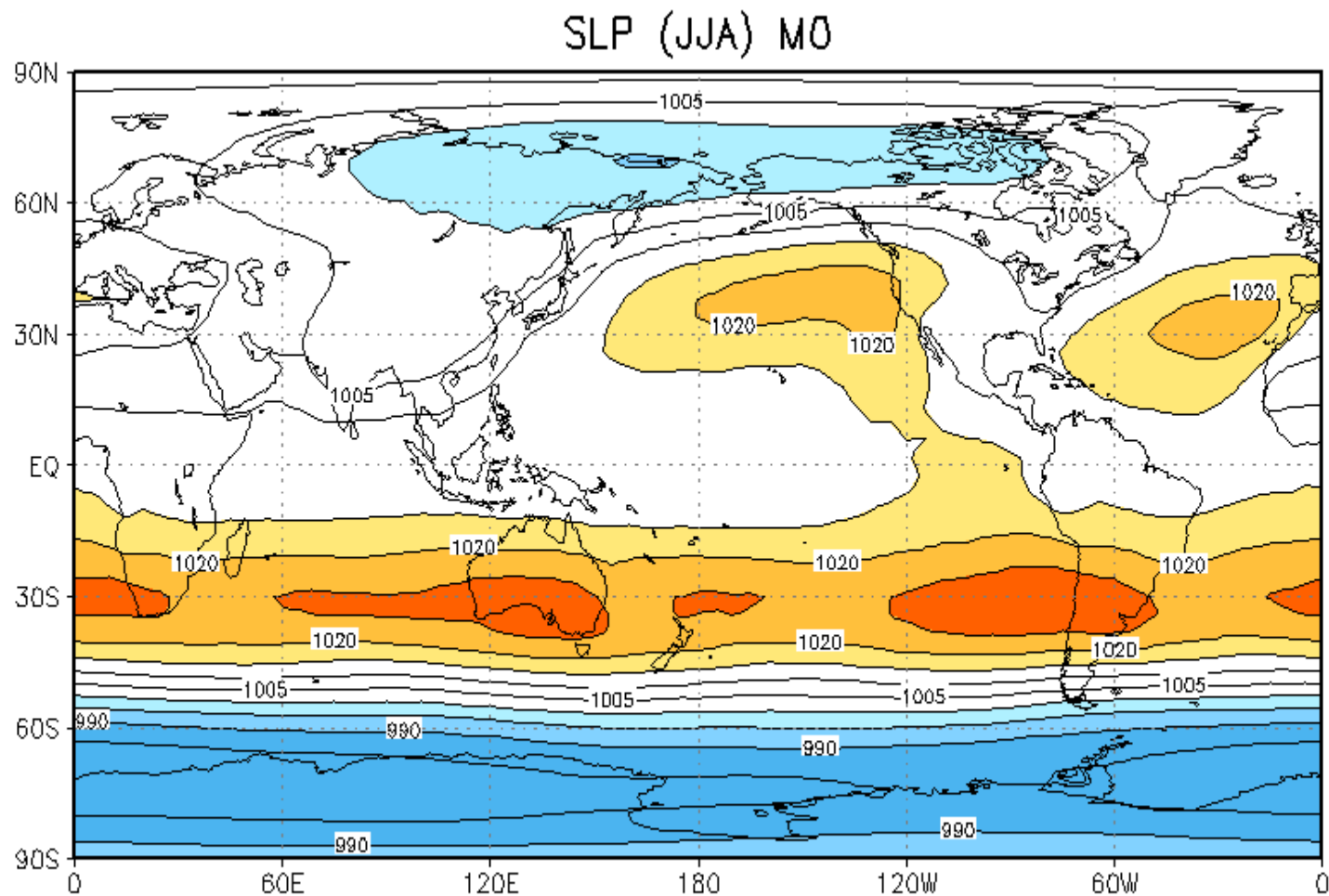
等値線は、2°C 毎で、負偏差域は、影がついてある。主要な高温域・低温域の中心には、W, C が、高圧部・低圧部の中心には、H, Lがつけてある。

北半球冬

チベット高原上のモンスーン季の活発な雲活動
⇒大気を潜熱で加熱している

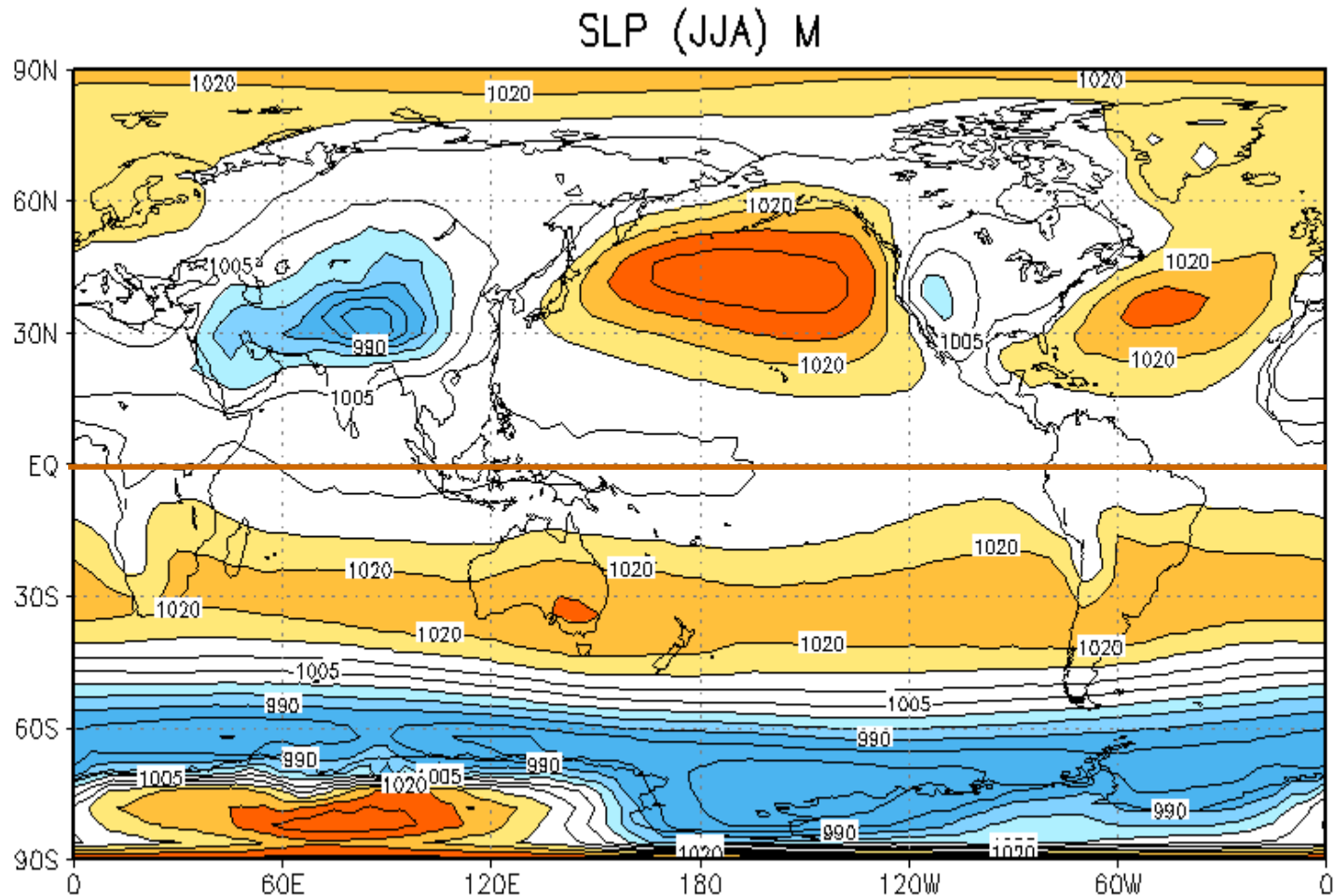


Change of surface level pressure (SLP) from M0 to M



Intensified Asian monsoon low (trough)

Intensified Pacific (Atlantic) subtropical high in NH



Intensified equatorial trough over the western Pacific

地上気圧分布と風ベクトル(Jul, 1997)

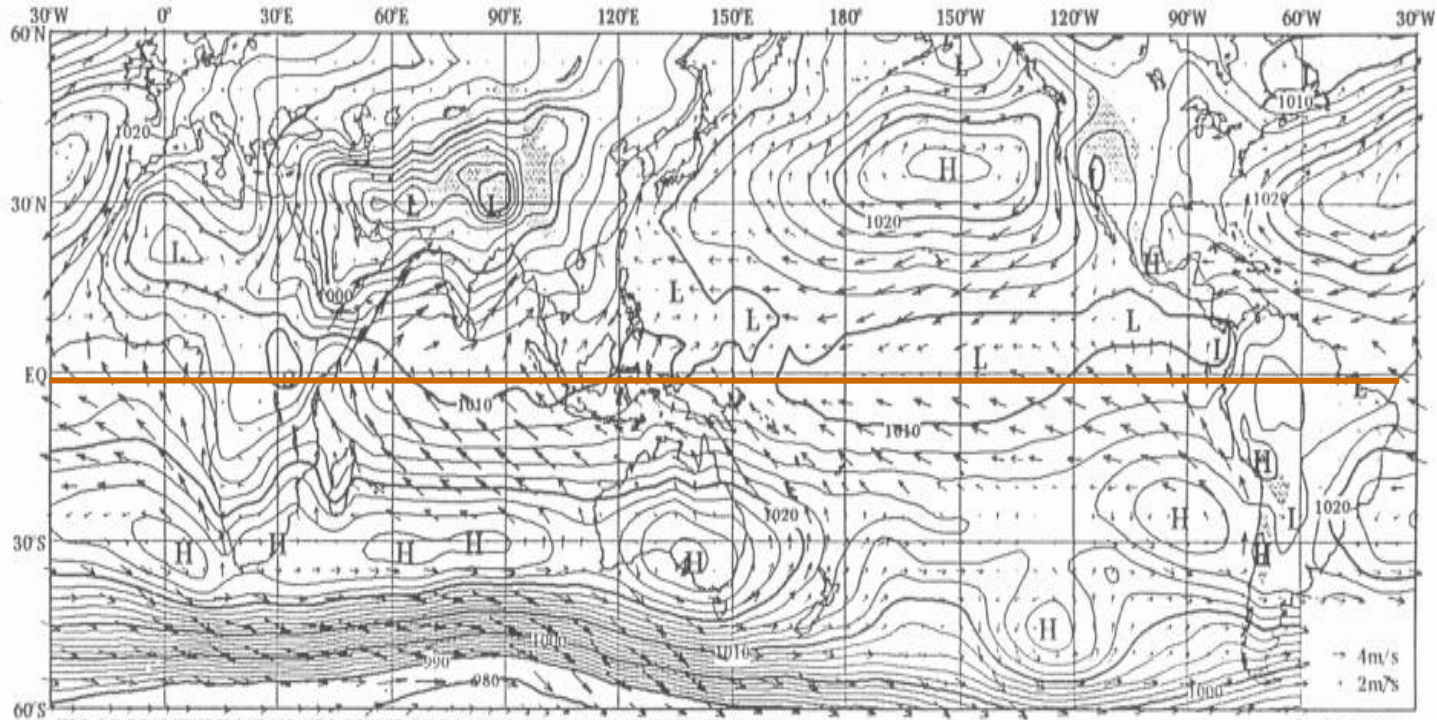
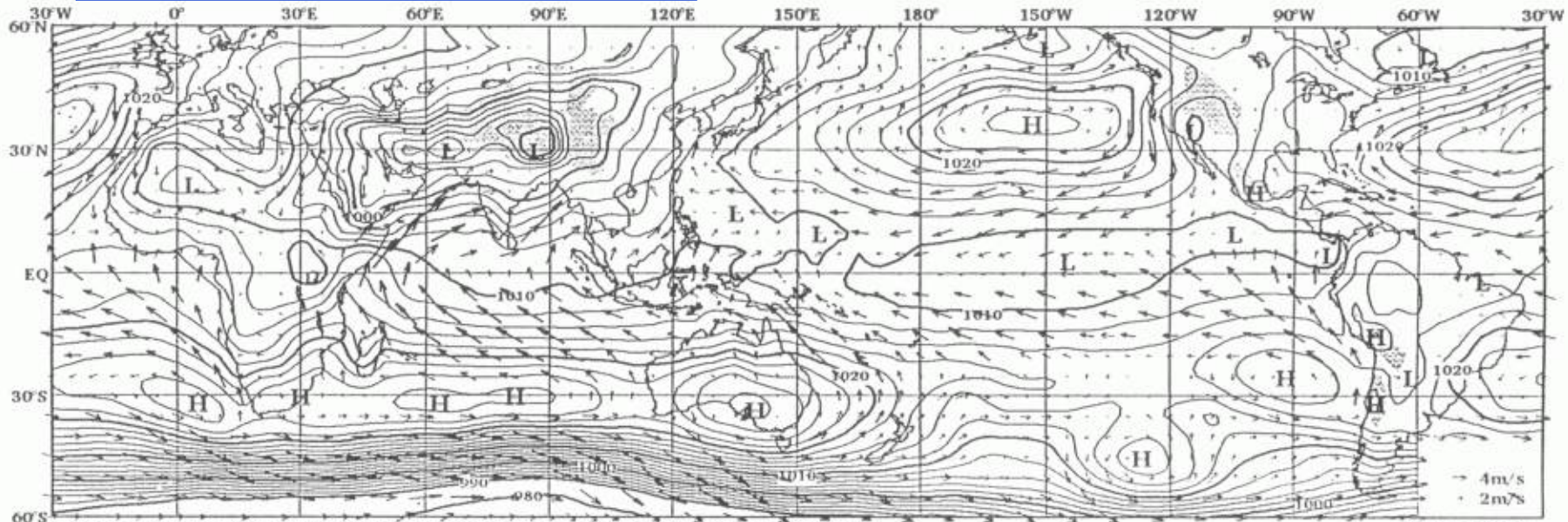


FIG.35 MONTHLY MEAN SEA LEVEL PRESSURE AND SURFACE WIND VECTOR

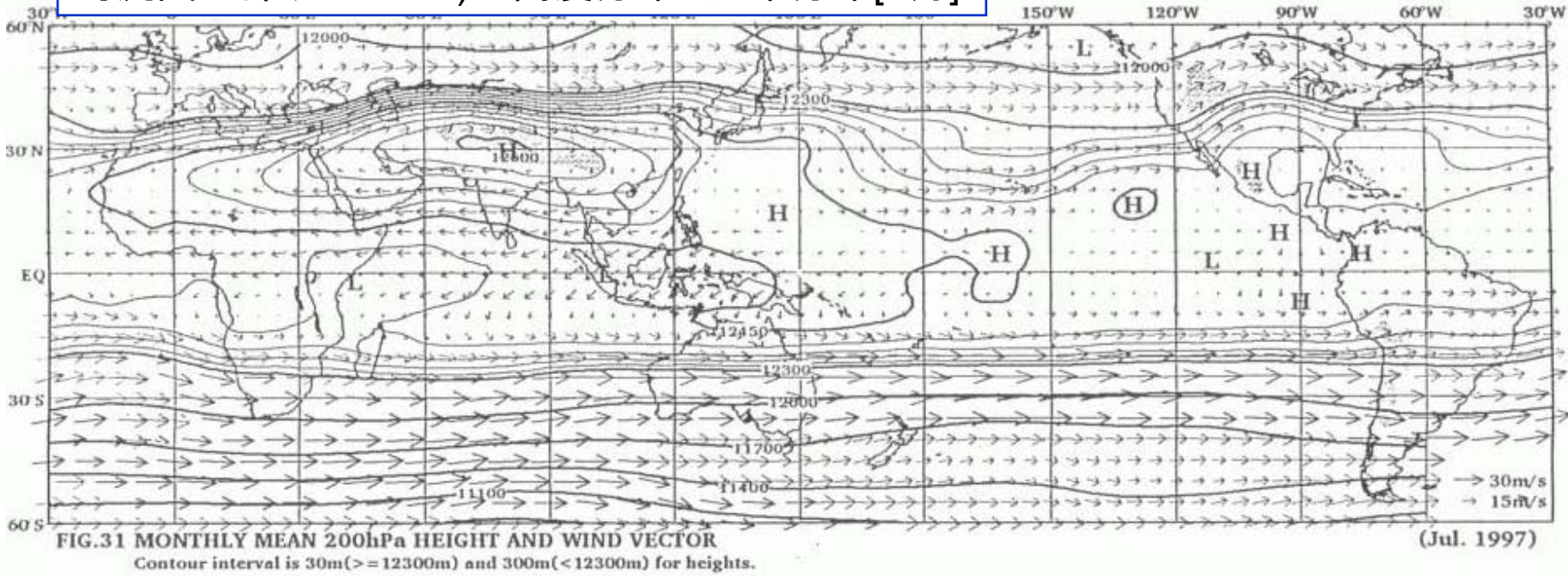
(Jul. 1997)

Contour interval is 2hPa(>=990hPa) and 10hPa(<990hPa) for sea level pressure.

地上の気圧分布と風系分布[7月]



対流圏上部(200hPa)の高度分布と風系分布[7月]



モンスーン VS. 砂漠気候と 熱帯偏東風ジェット

THE EASTERLY JET STREAM IN THE TROPICS

49

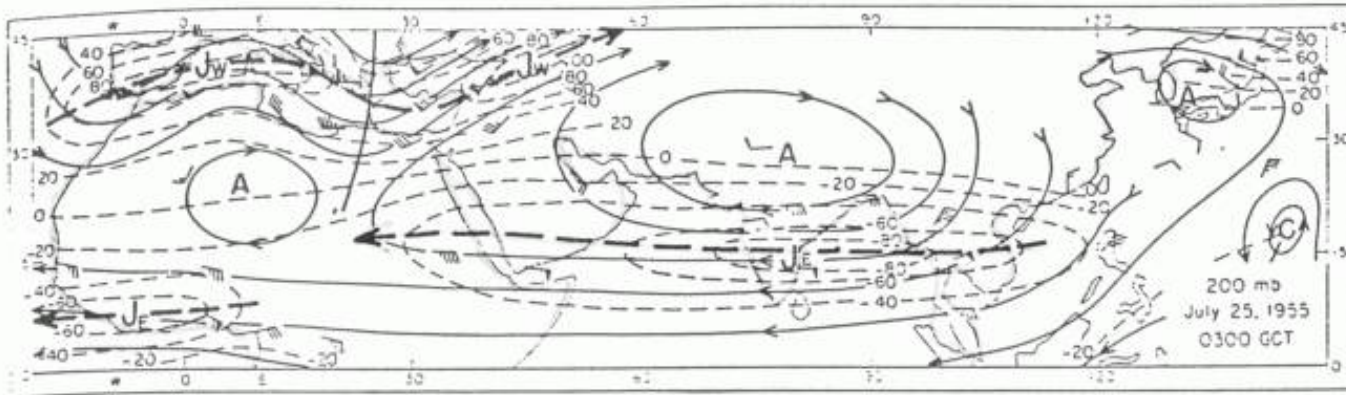


Fig. 4 c. Streamlines and isotachs 200 mbs, July 25, 1955. Jet axis marked heavy and wind maxima shaded.

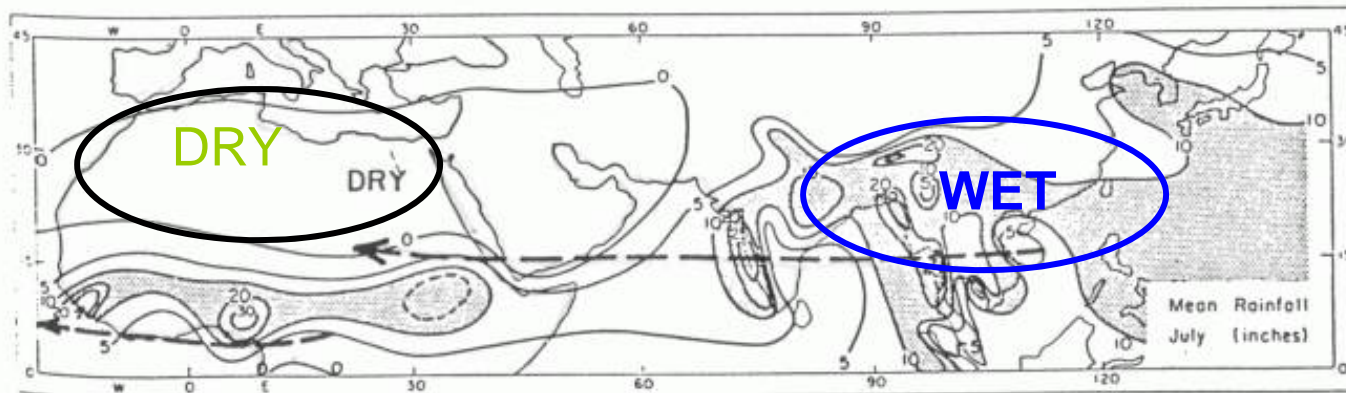


Fig. 8. Average July rainfall (inches) and easterly Jet stream position during August 1955.

Tellus X (1958), 1

(Koteswaram, 1958)

(Koteswaram, 1958)

乾燥アジアと湿潤アジアの降水量の季節変化

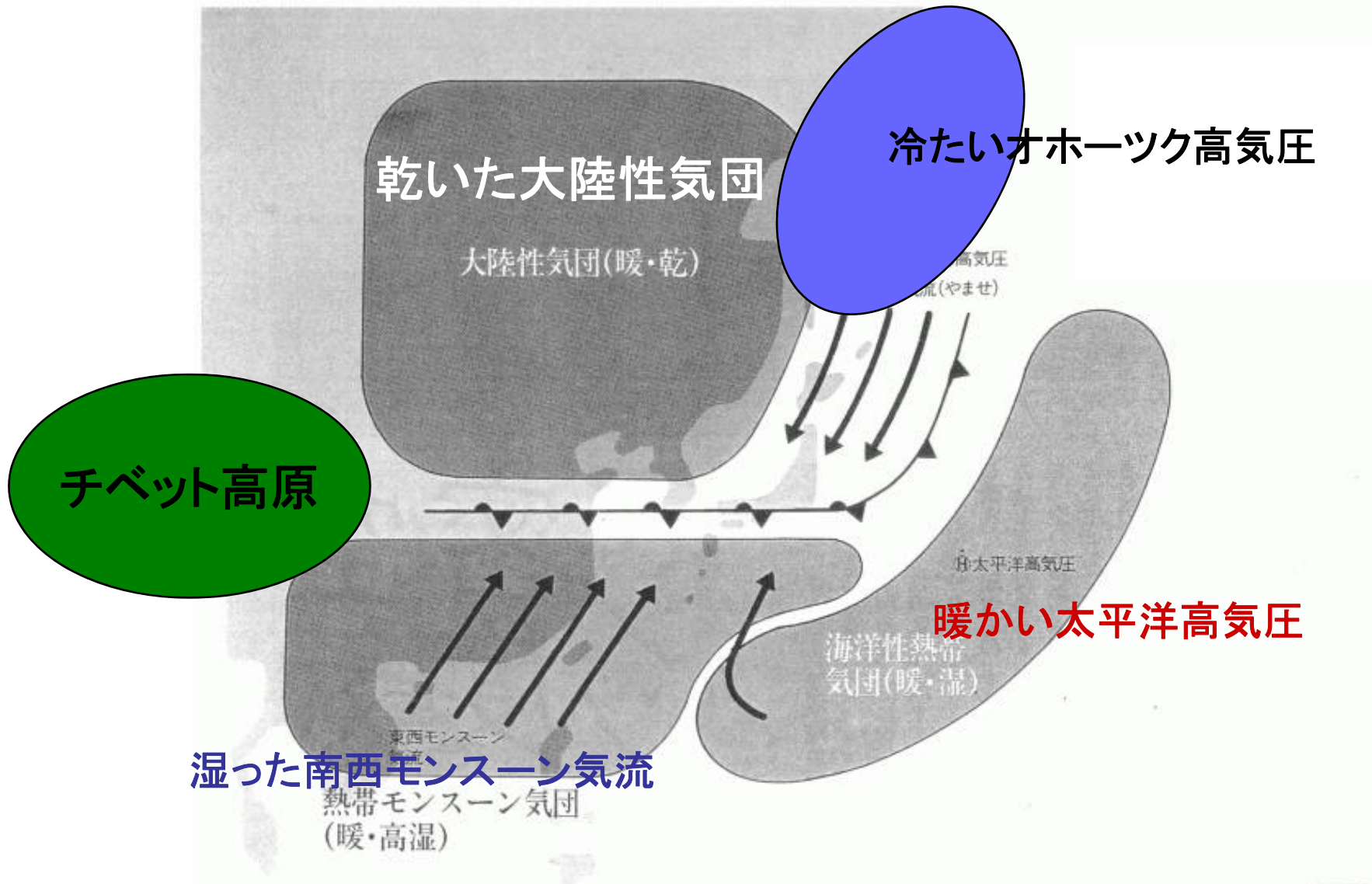
地域		月												全年
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
乾燥 ア ジ ア	バグダード (イラク)	26	28	28	17	7	0	0	0	0	3	21	26	156
	テヘラン (イラン)	37	23	36	31	14	2	1	1	1	5	29	27	208
	カーブル (アフガニスタン)	30	36	94	102	20	5	3	3	0	15	20	10	338
湿潤 ア ジ ア	ボンベイ (インド)	2	1	0	3	16	520	709	419	297	88	21	2	2078
	アキャブ (ビルマ)	5	3	15	14	362	966	1110	1162	655	398	68	20	4778
	マニラ (フィリピン)	18	7	6	24	110	233	253	480	271	201	129	56	1791

表14 乾燥アジアと湿潤アジアの雨量の比較

梅雨(Meiyu)ー特殊なモンスーン

梅雨前線の形成・変動に関わるいくつかの要素

チベット高原とアジアモンスーンおよび 太平洋高気圧・オホーツク高気圧・大陸性気団

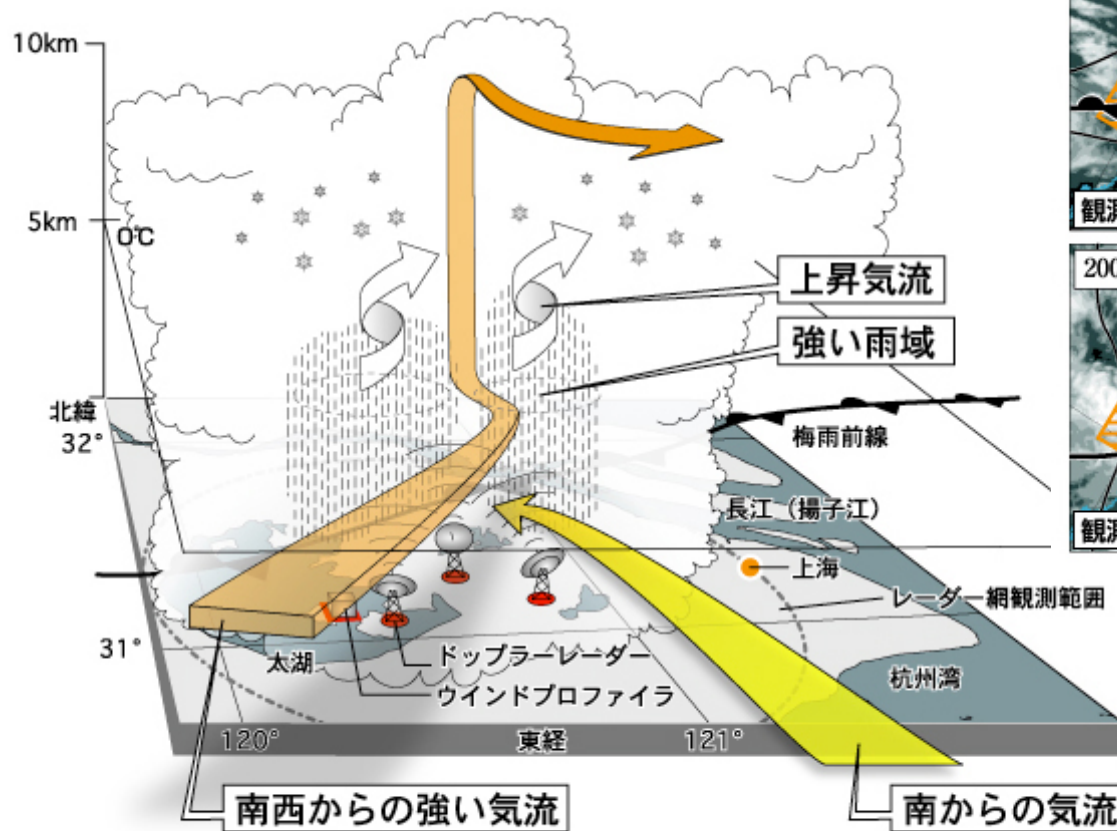


梅雨前線内の雲システムと豪雨の機構

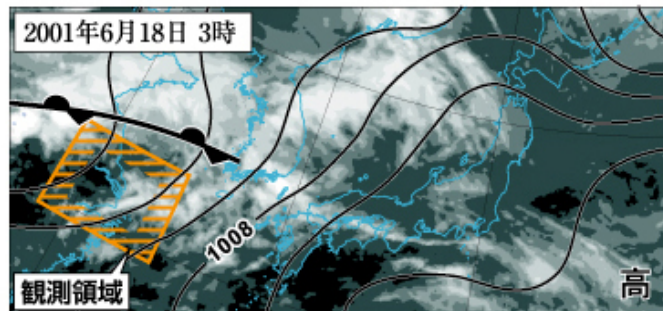
(中国長江下流域、2001年6月)

地球観測フロンティア研究システムと

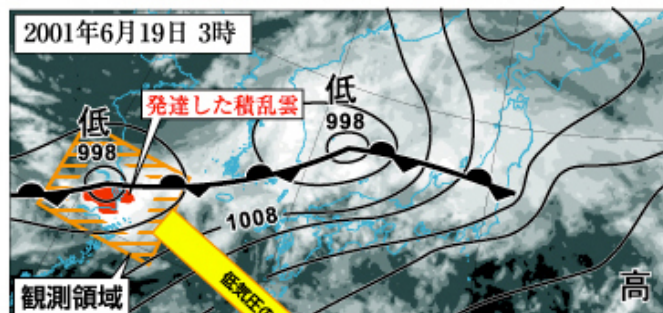
中国気象科学研究院の共同強化観測により解明



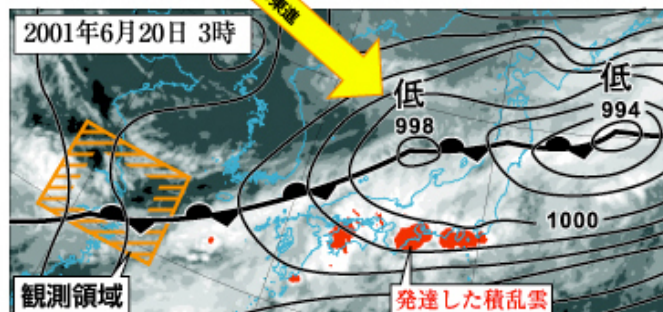
2つの湿った気流が積乱雲を発達させる



発生前



発生直後



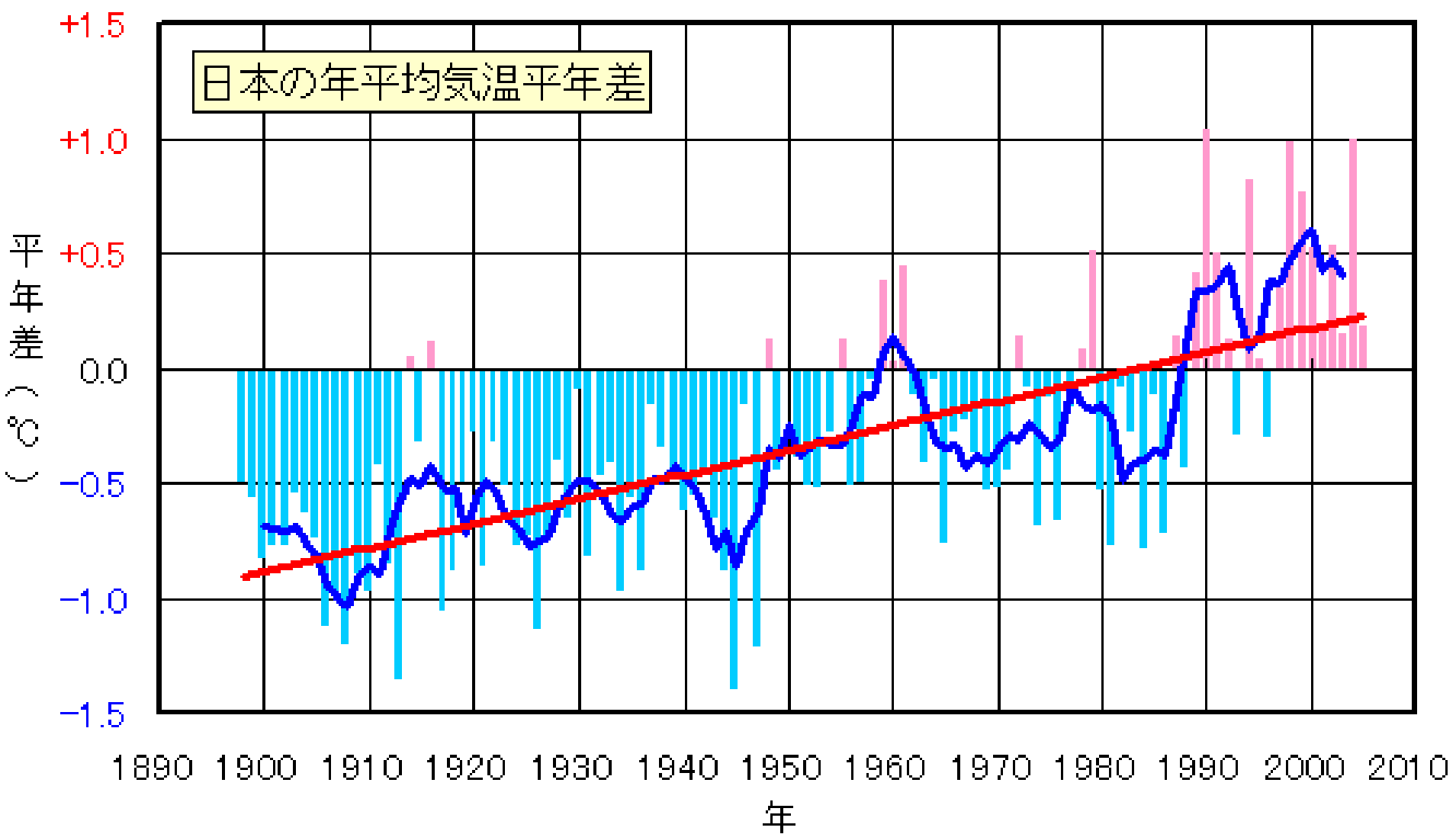
日本に豪雨もたらす

南アジアモンスーンと太平洋高気圧周縁からの湿った気流が合流して豪雨が発生

日本の降水量は どう変化してきたか？

- 異常気象レポート2005(気象庁)

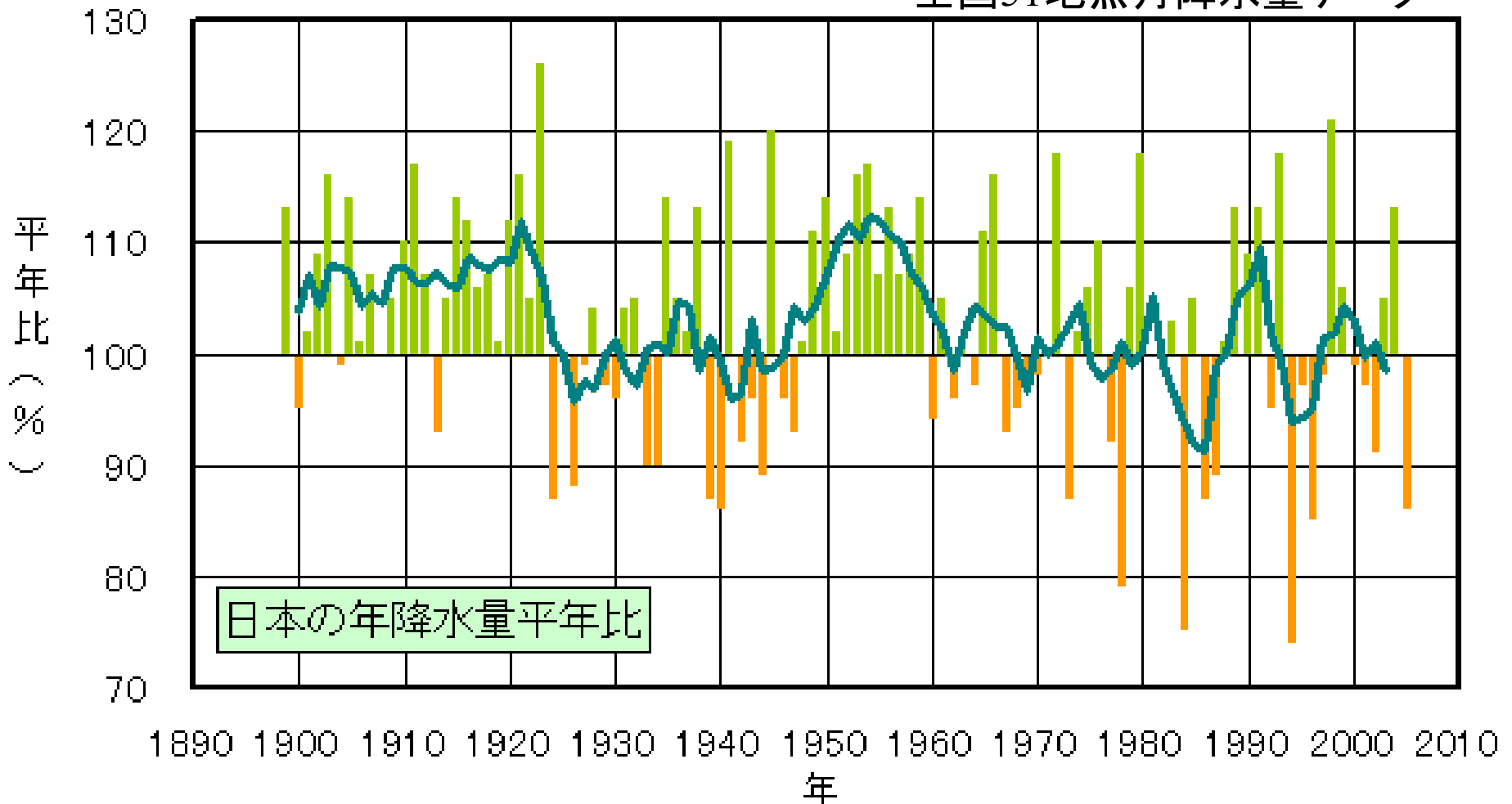




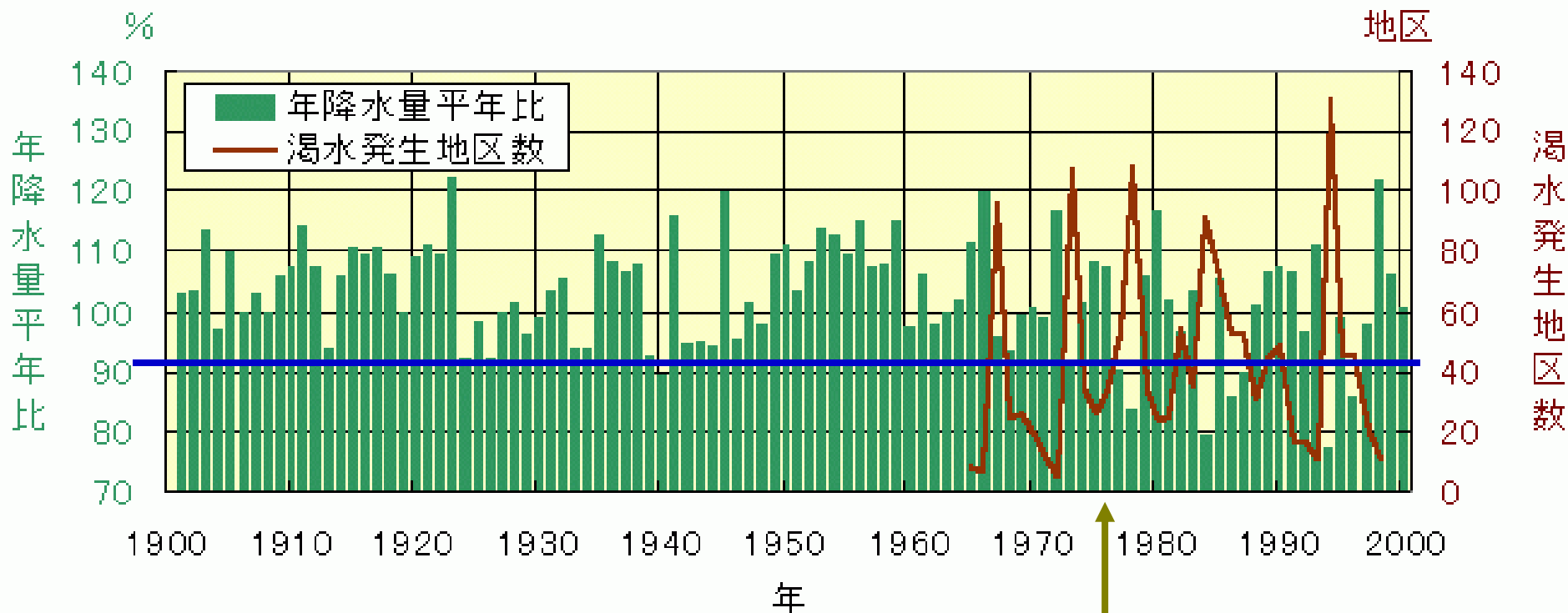
20世紀における日本の年降水量の変化

長期的にはやや減少傾向？ 年々の変動は大きくなっている？

全国51地点月降水量データ



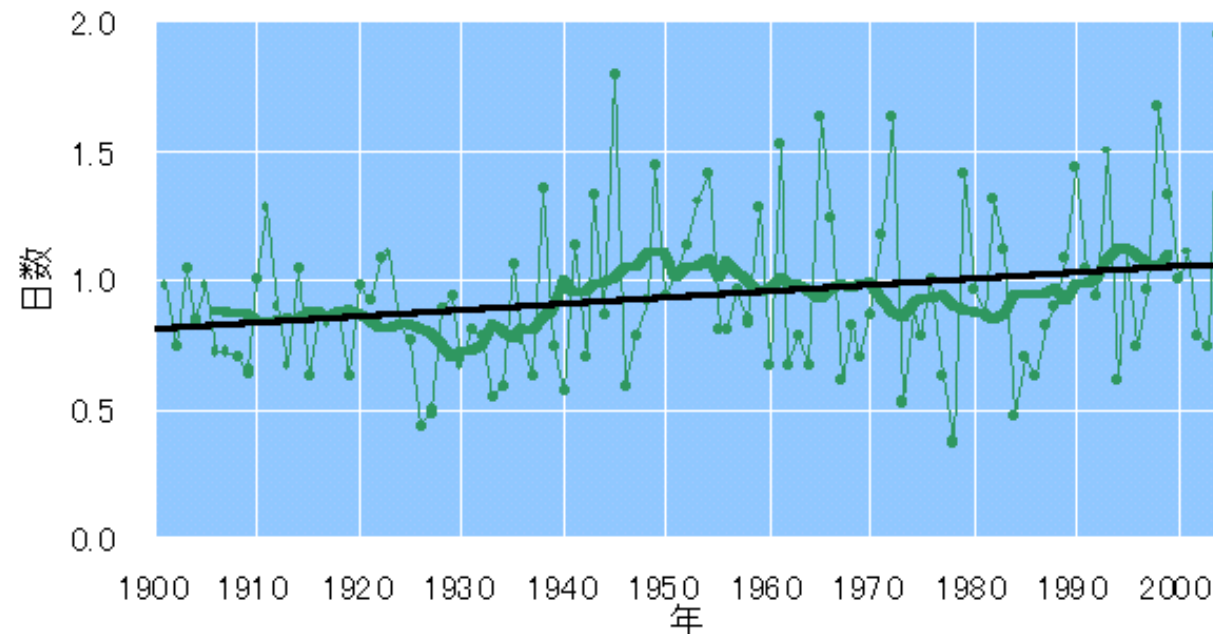
日本の年降水量平年比と渇水発生地区数



1970年代後半以降、渇水年が増加？



日降水量100mm以上の日数(年)



日降水量200mm以上の日数(年)

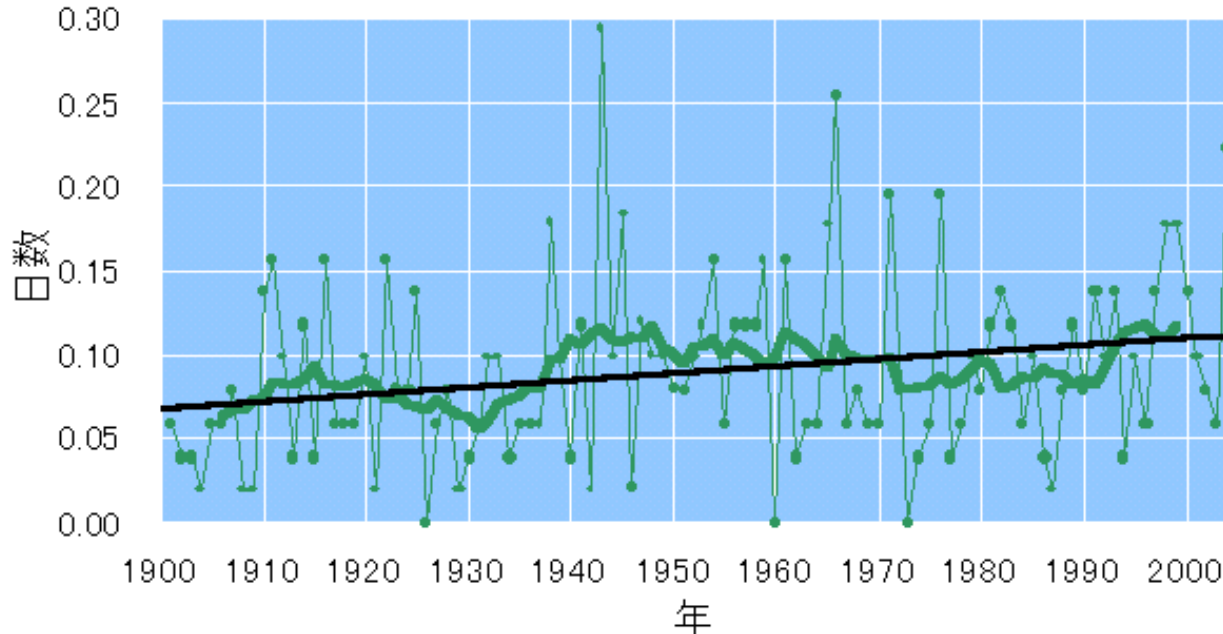


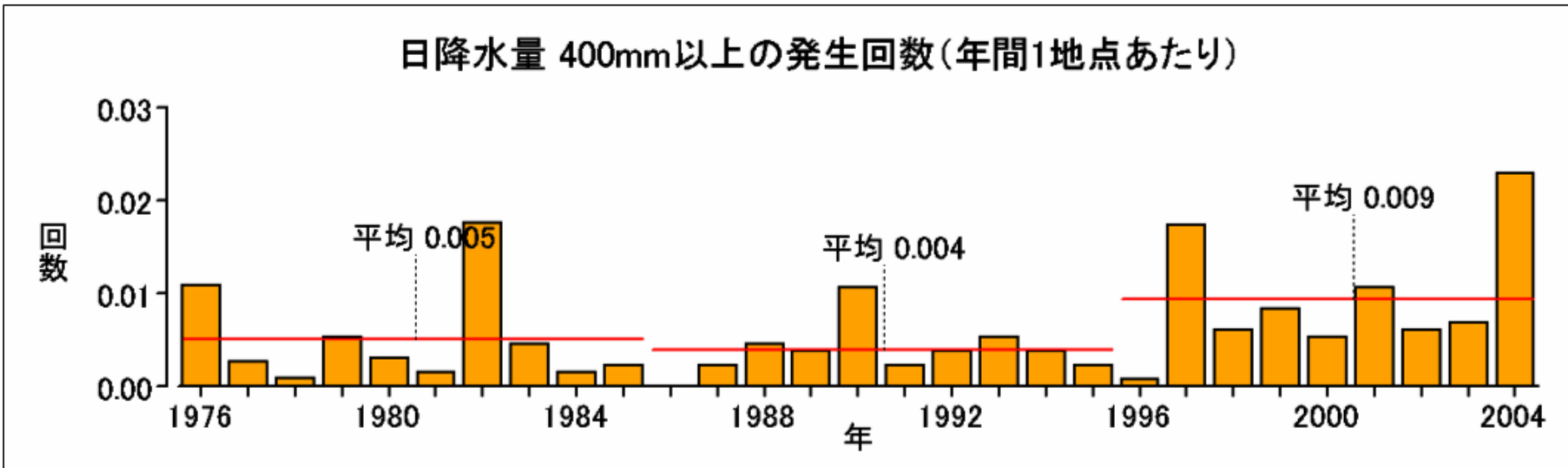
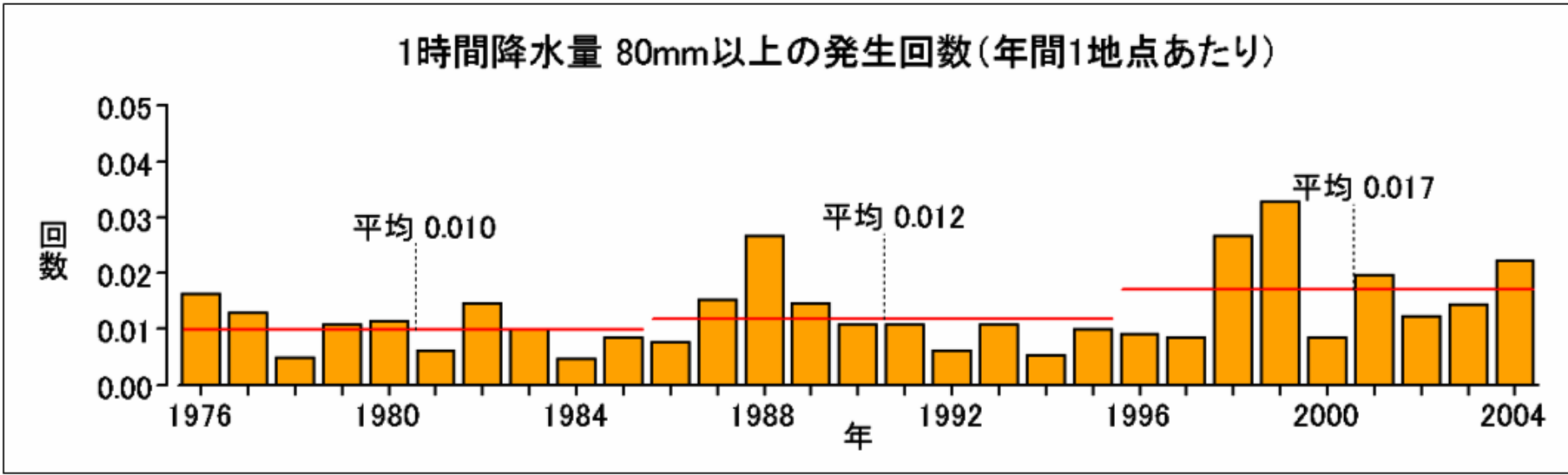
図1.3.7

(上)日降水量
100mm以上および
(下)200mm以上の
日数の経年変化

1地点あたりの年間日数。年々の値(細線)と11年移動平均値(太線)を示す。直線(黒)は長期変化傾向。

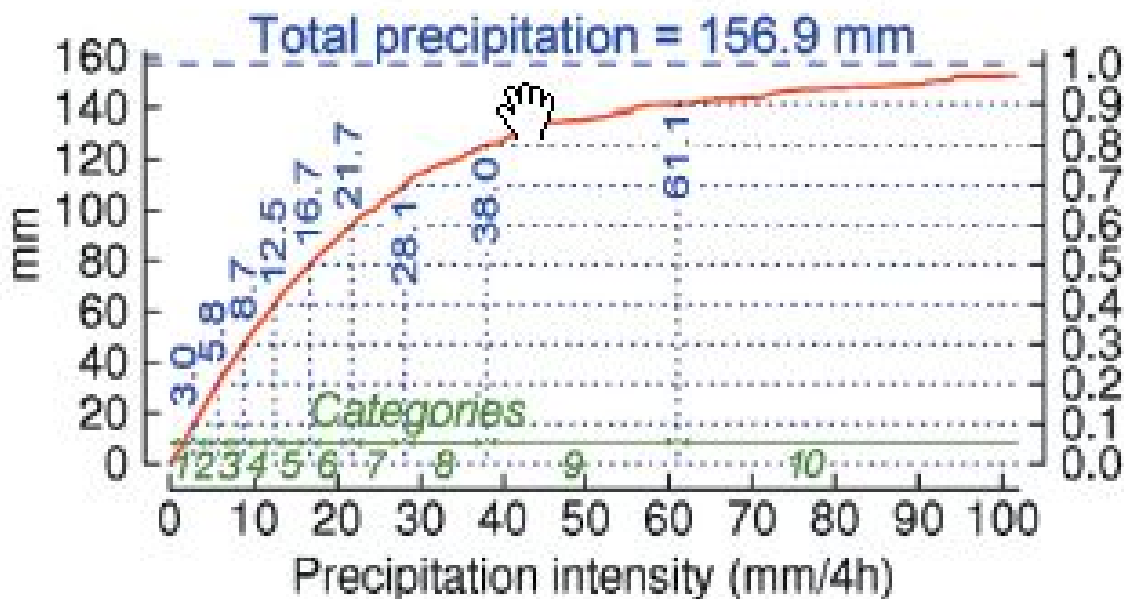
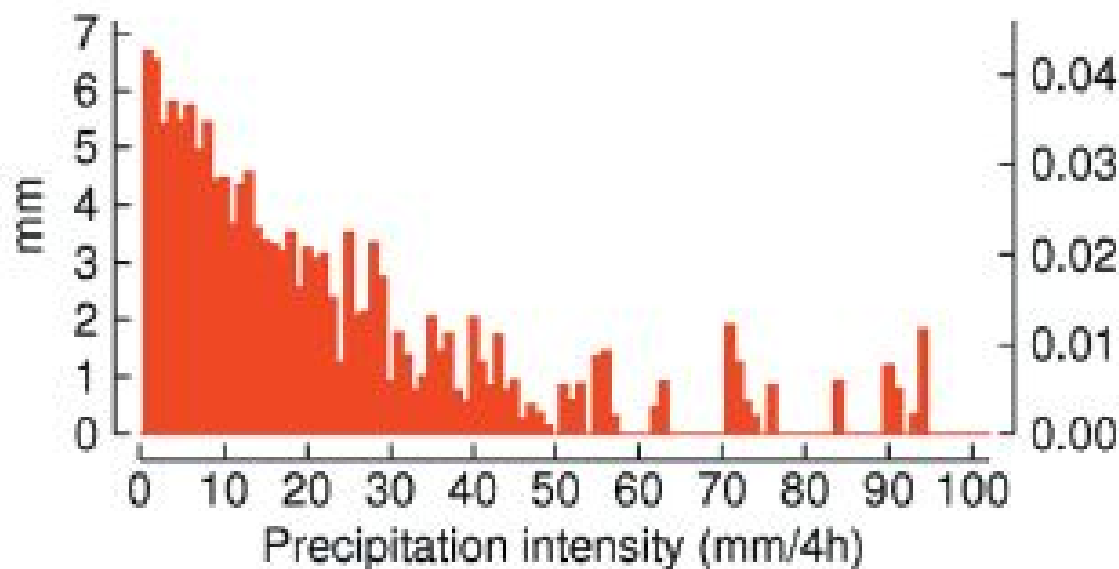


図1 アメダス地点で1時間降水量が50mm、80mm以上となった回数、および日降水量が200mm、400mm以上となった回数



日本の降水強度の長期変化(1898→2003)

(時間降水量データにもとづく長期変化の解析)



降水階級1、3、8、10における年間降水量(全国の4年ごとの平均値)の長期変化 図1.3.10

強い雨(階級10)ほど増加傾向、弱い雨(階級1)ほど減少傾向にある

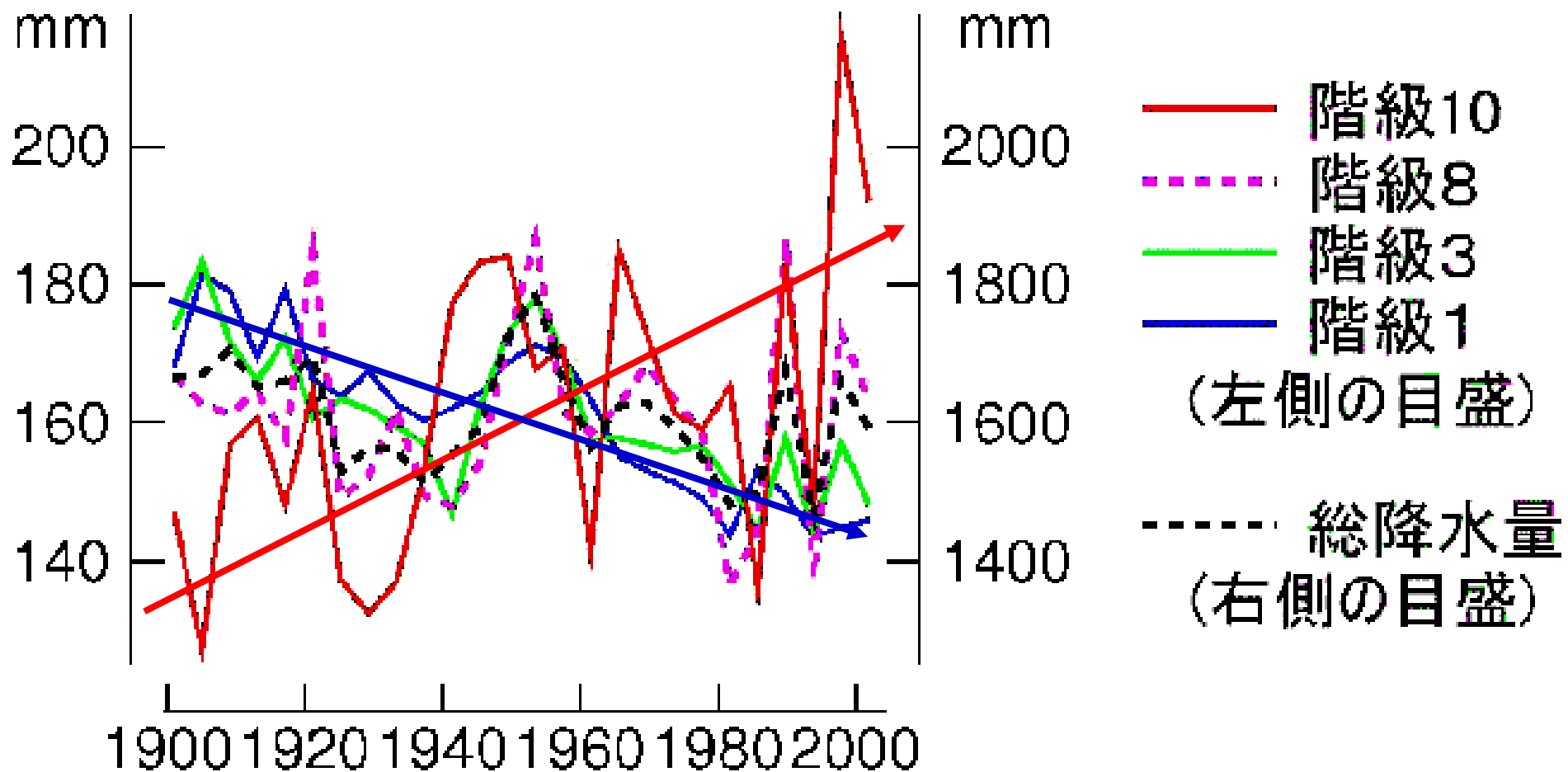


図1.3.12 全国および地域別の各階級の降水量の経年変化率(年平均)

全国および西日本について95%信頼幅を縦棒で示す。

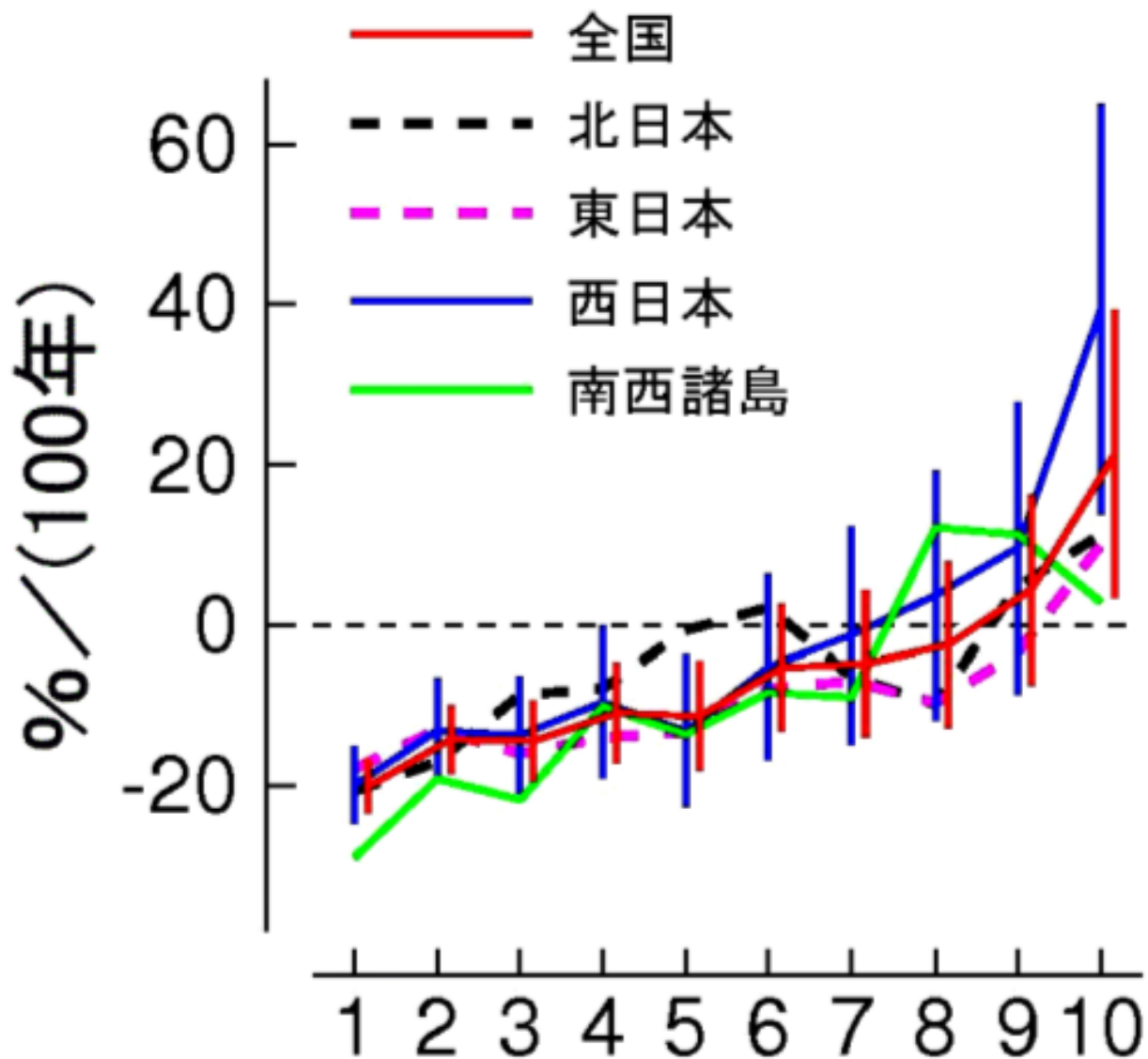
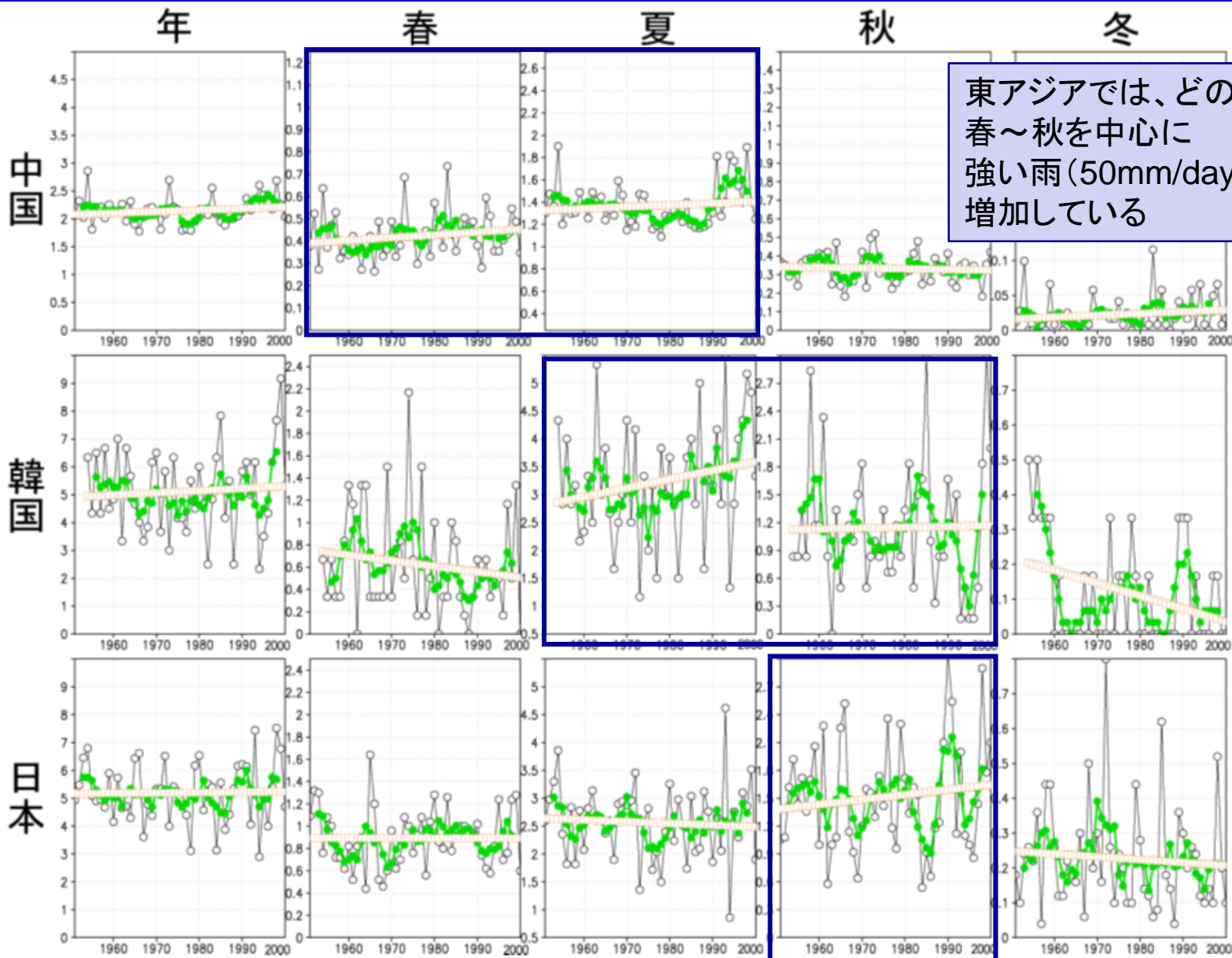


図1.3.24 50mm以上の日降水量の各期間における日数(日/年)を(上段)中国、(中段)韓国、(下段)日本で平均した時系列

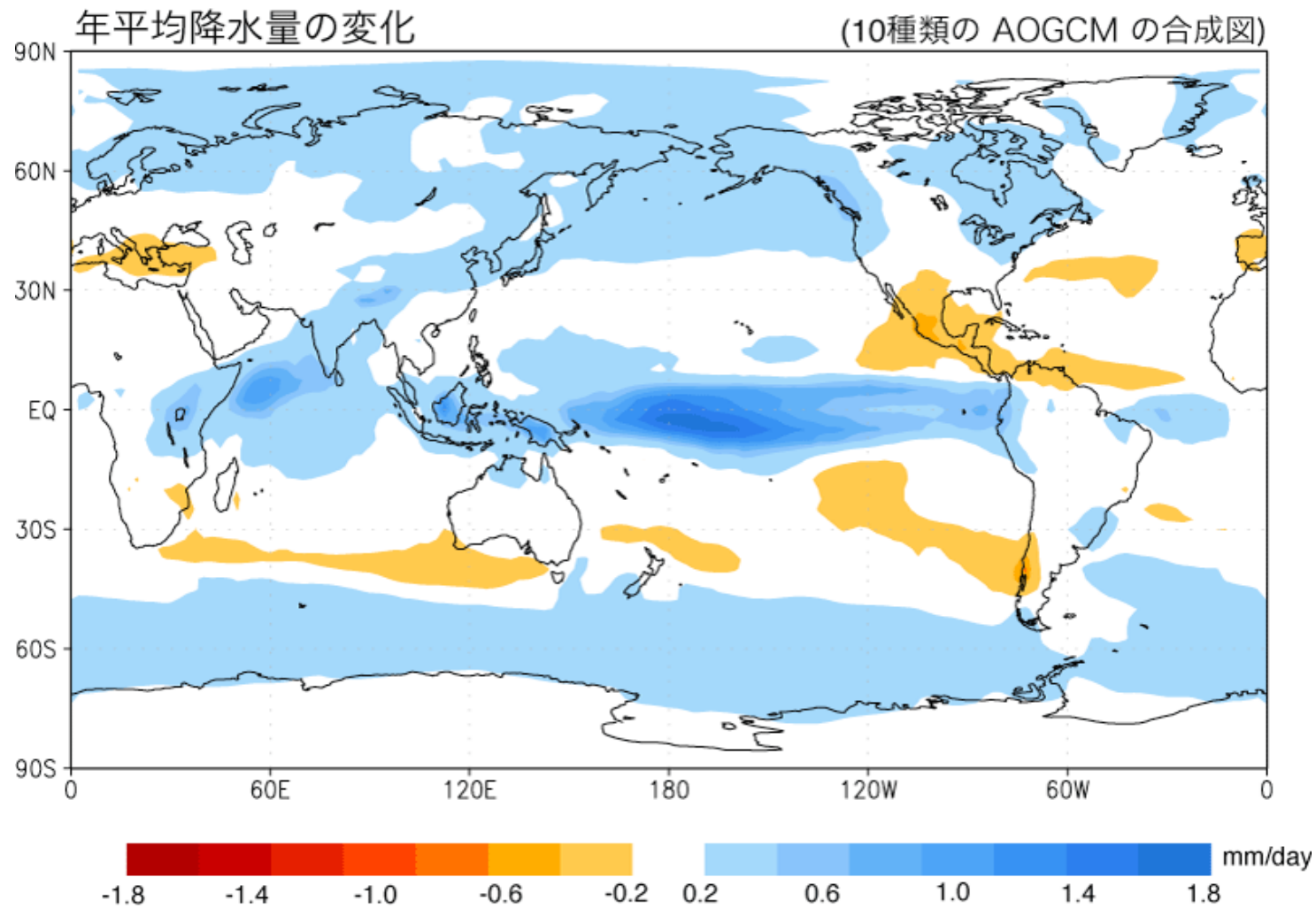


「地球温暖化」で
アジアモンスーンはどう変化するか？

IPCCによる2100年の降水量変化予測

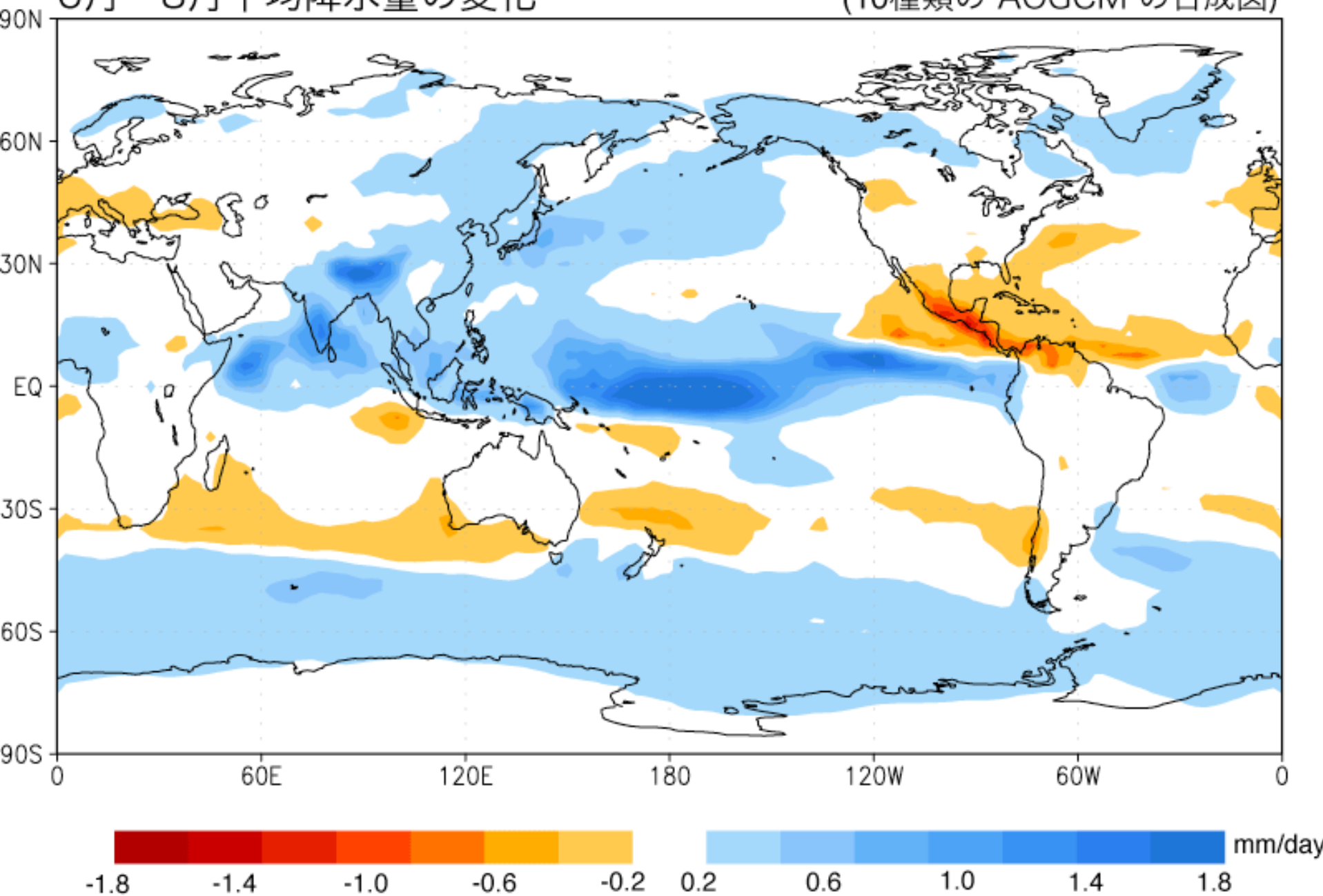
(10の気候モデルによる結果の平均: B1シナリオ)

熱帯・アジアモンスーン地域の降水量は増加傾向だが
モデル間のばらつきはかなり大きい



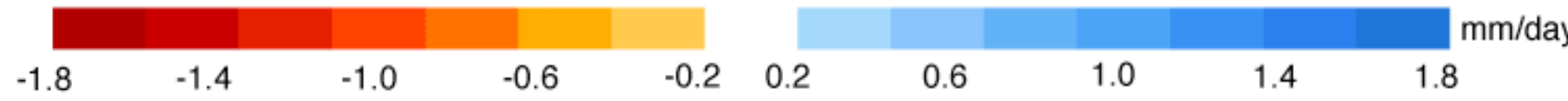
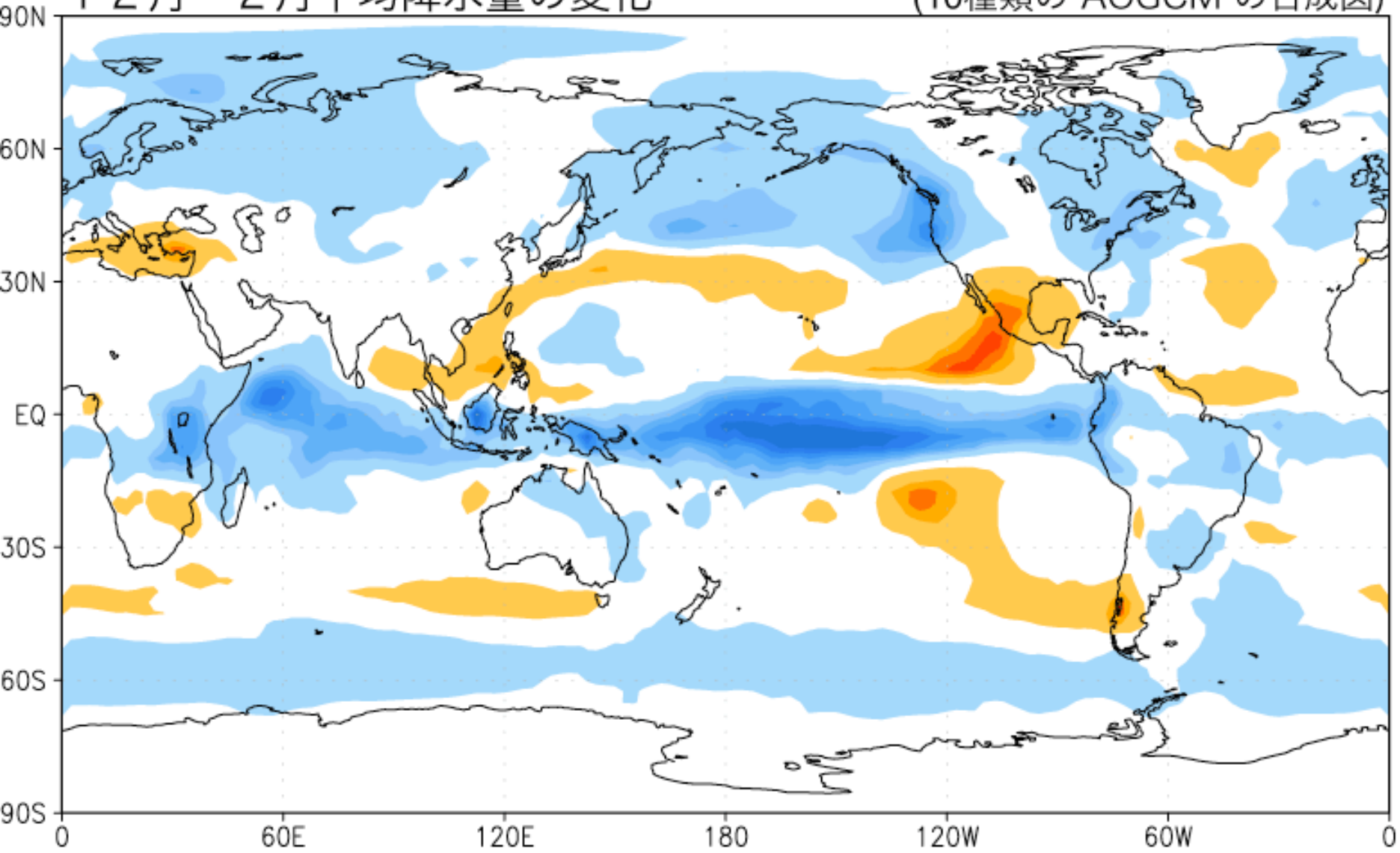
6月～8月平均降水量の変化

(10種類の AOGCM の合成図)



12月～2月平均降水量の変化

(10種類の AOGCM の合成図)



「地球温暖化」に伴う日本付近 の降水変化の予測は？



気候モデルの予測でも、CO₂増加により、強い雨の頻度が増え、弱い雨の頻度が減る傾向が現れている

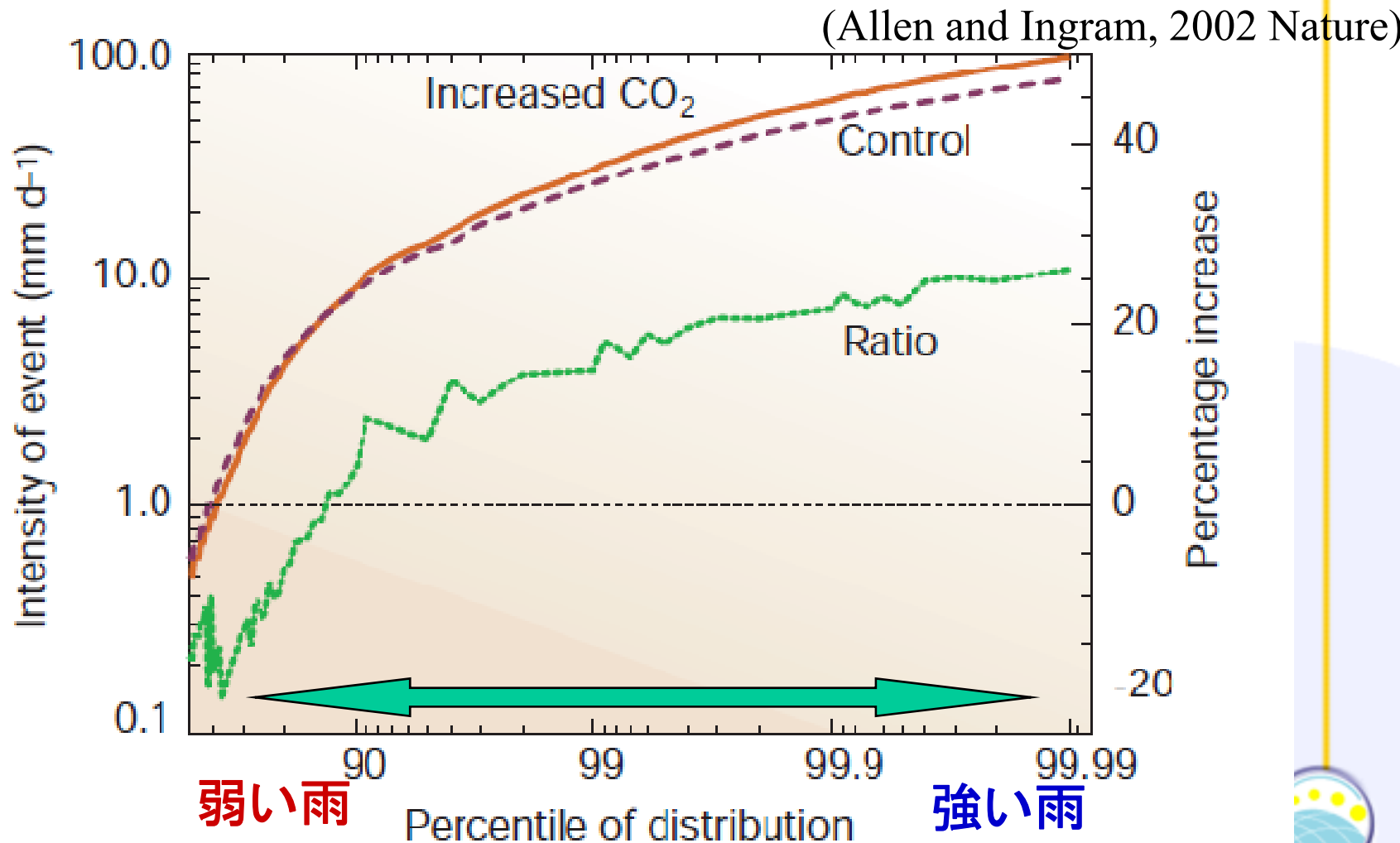
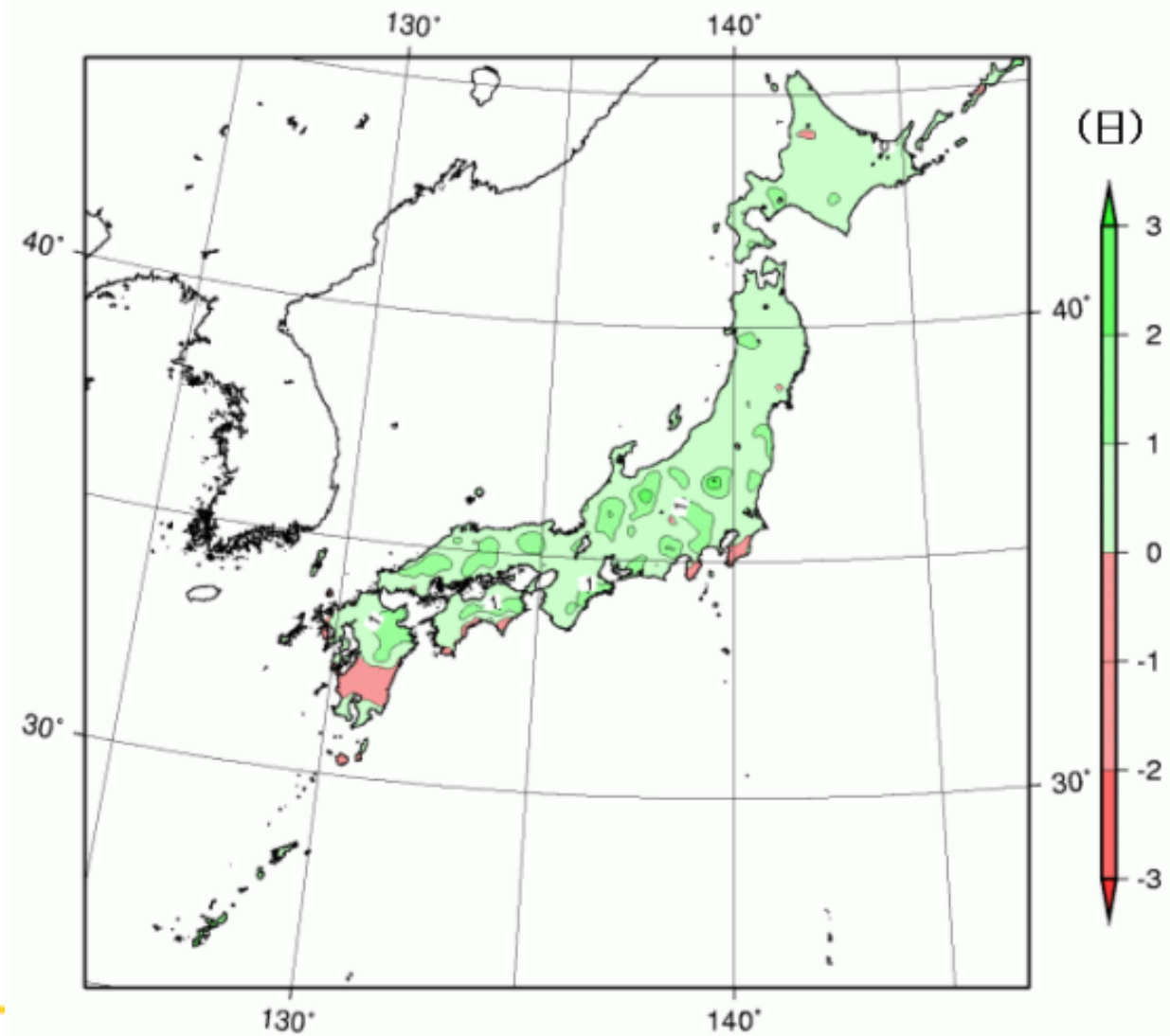


図1.4.6 約100年後の日降水量100mm以上となる日の年間出現日数の変化(単位:日)

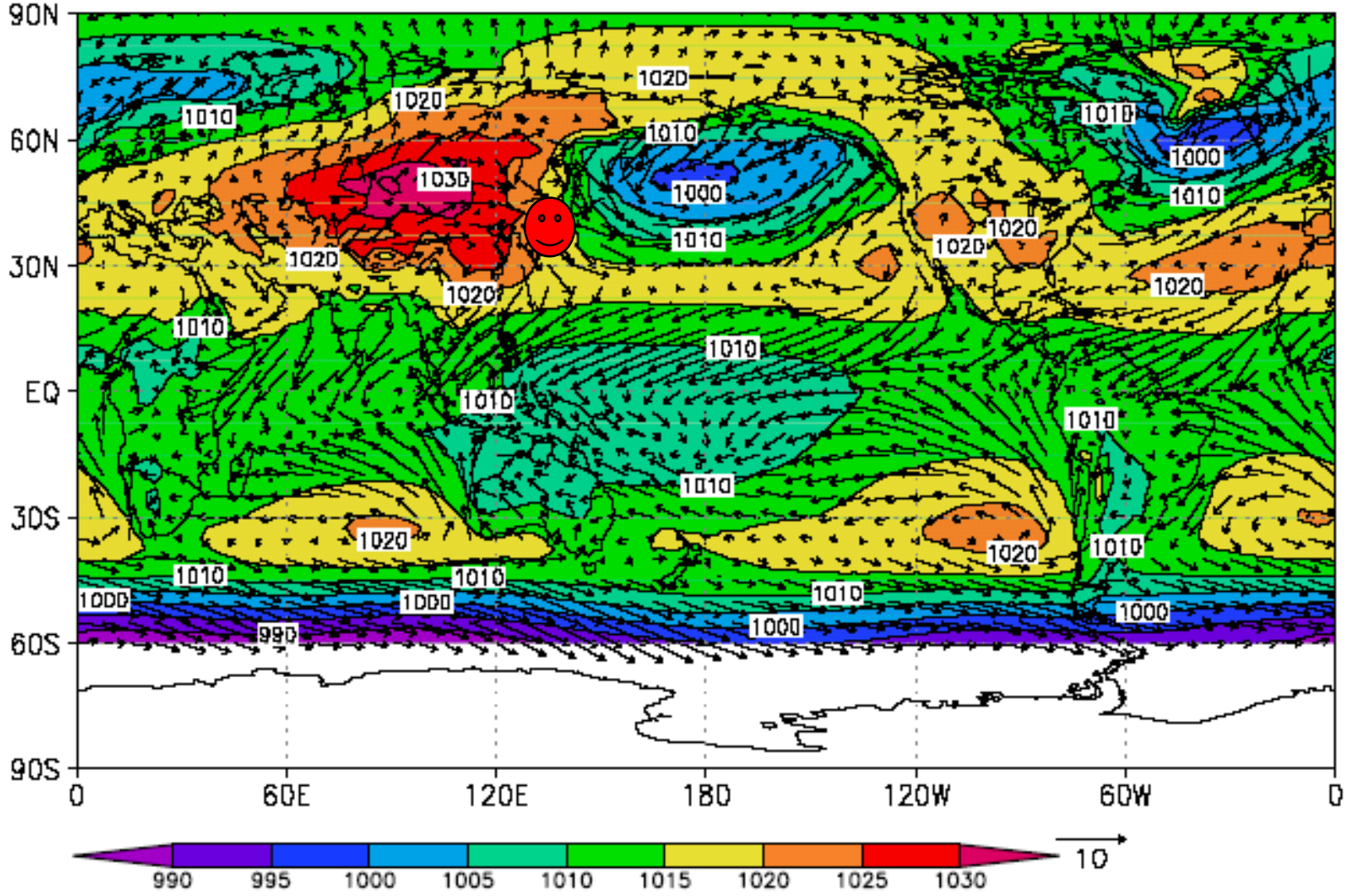
2081~2100年平均値と1981~2000年平均値との差。



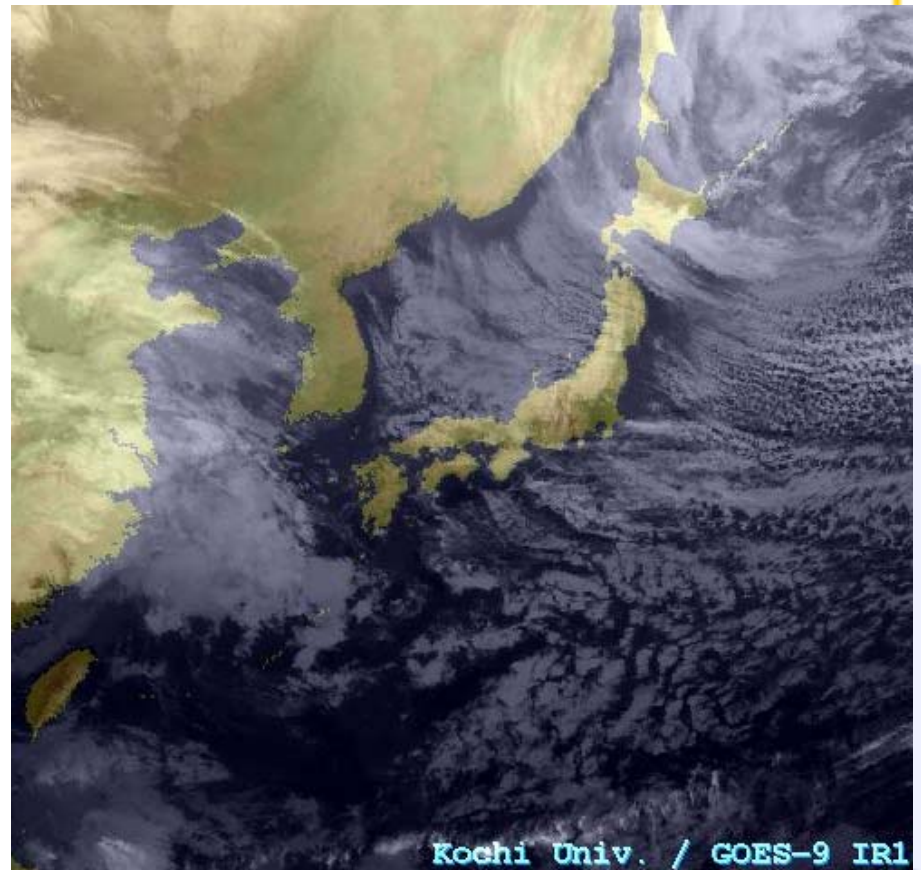
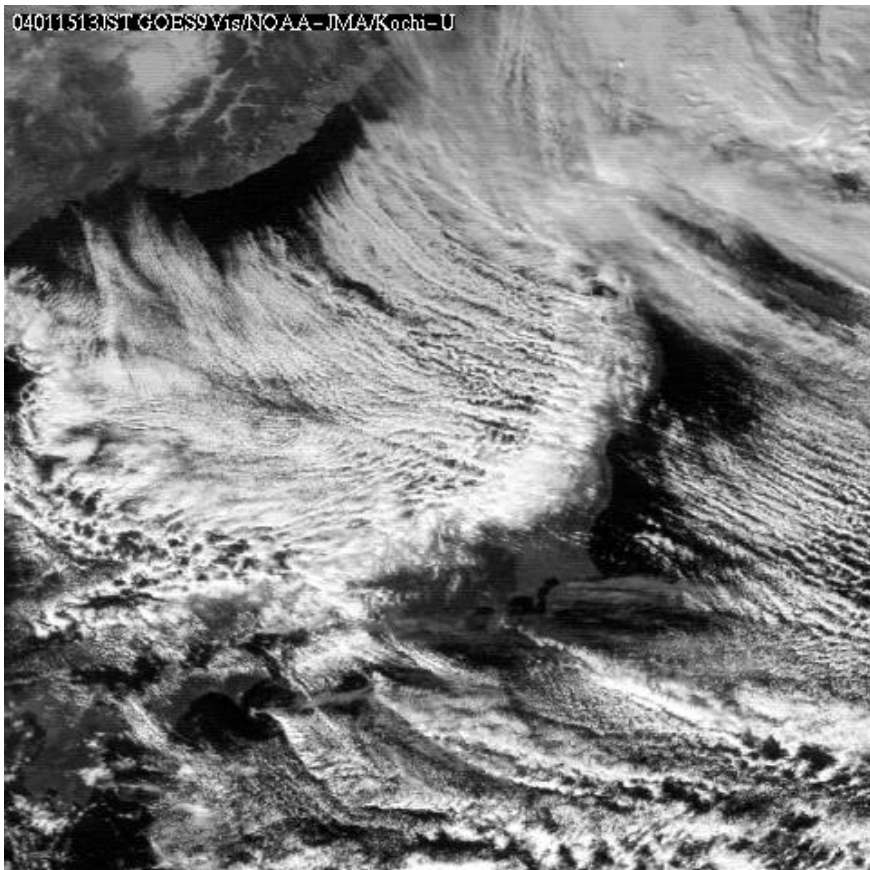
冬の日本の気候を支配するシベリア高気圧(とアリューシャン低気圧)

- Climatological Seasonal Mean Field (DJF) -

Surface [$p(\text{hPa})$, $u(\text{m/s})$, $v(\text{m/s})$]



冬の季節風による降雪量(降水量)は 「地球温暖化(?)」でどうなっているか?



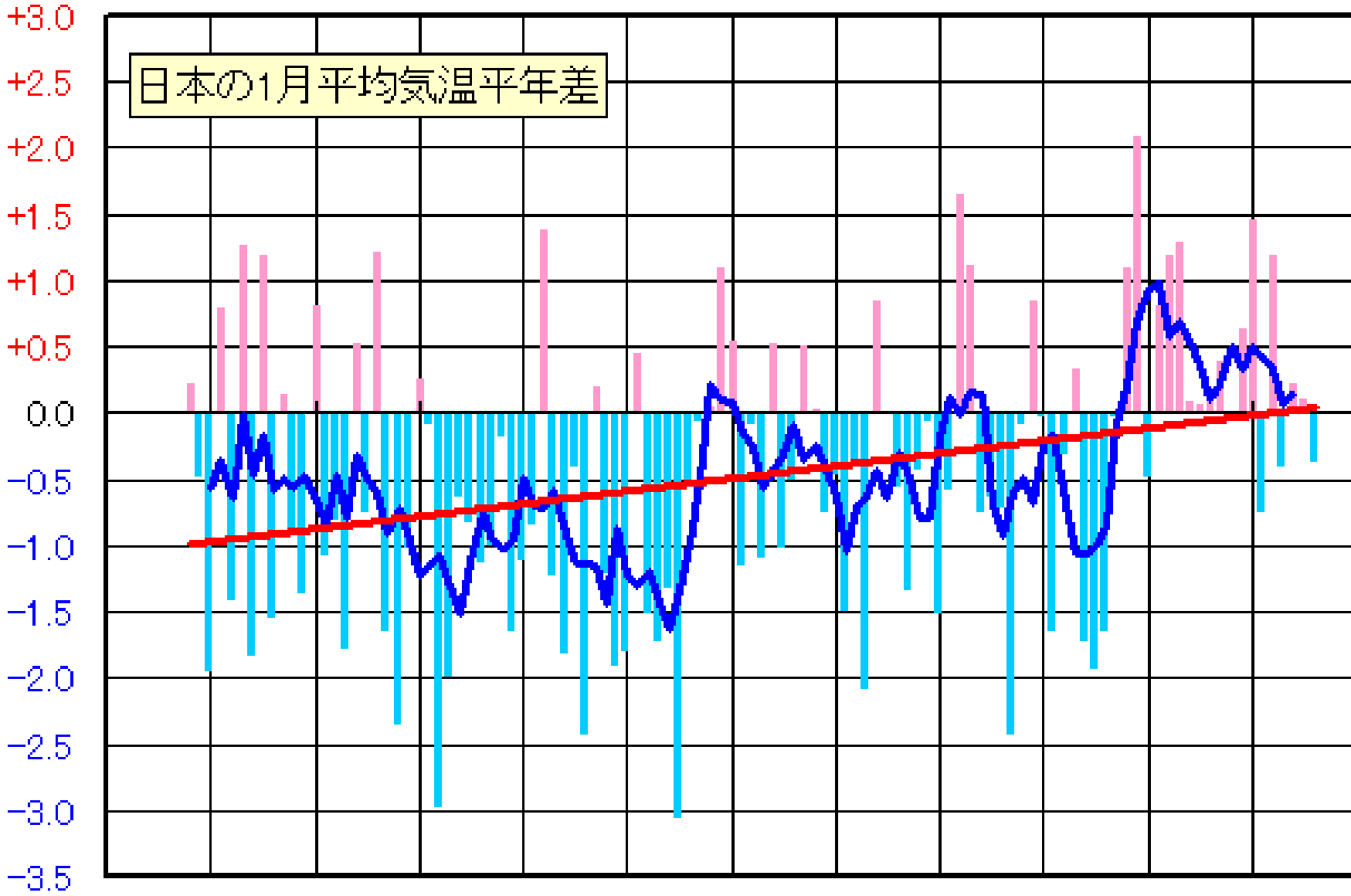
GOES-VIS, IR 2004. 1. 15 13JST

<http://weather.is.kochi-u.ac.jp/FE/00Latest.jpg>



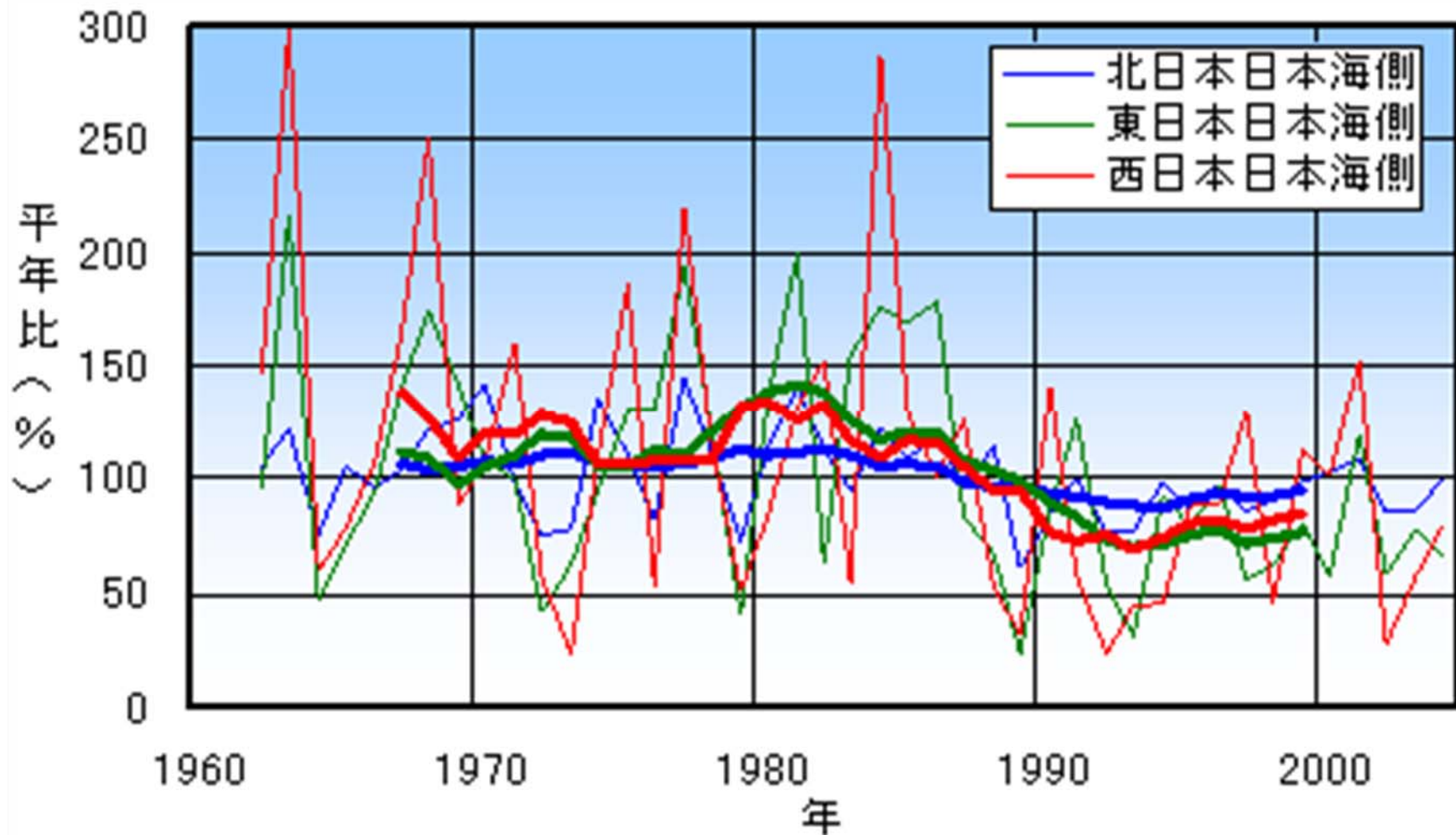
日本の1月平均気温平年差

平年差
($^{\circ}\text{C}$)



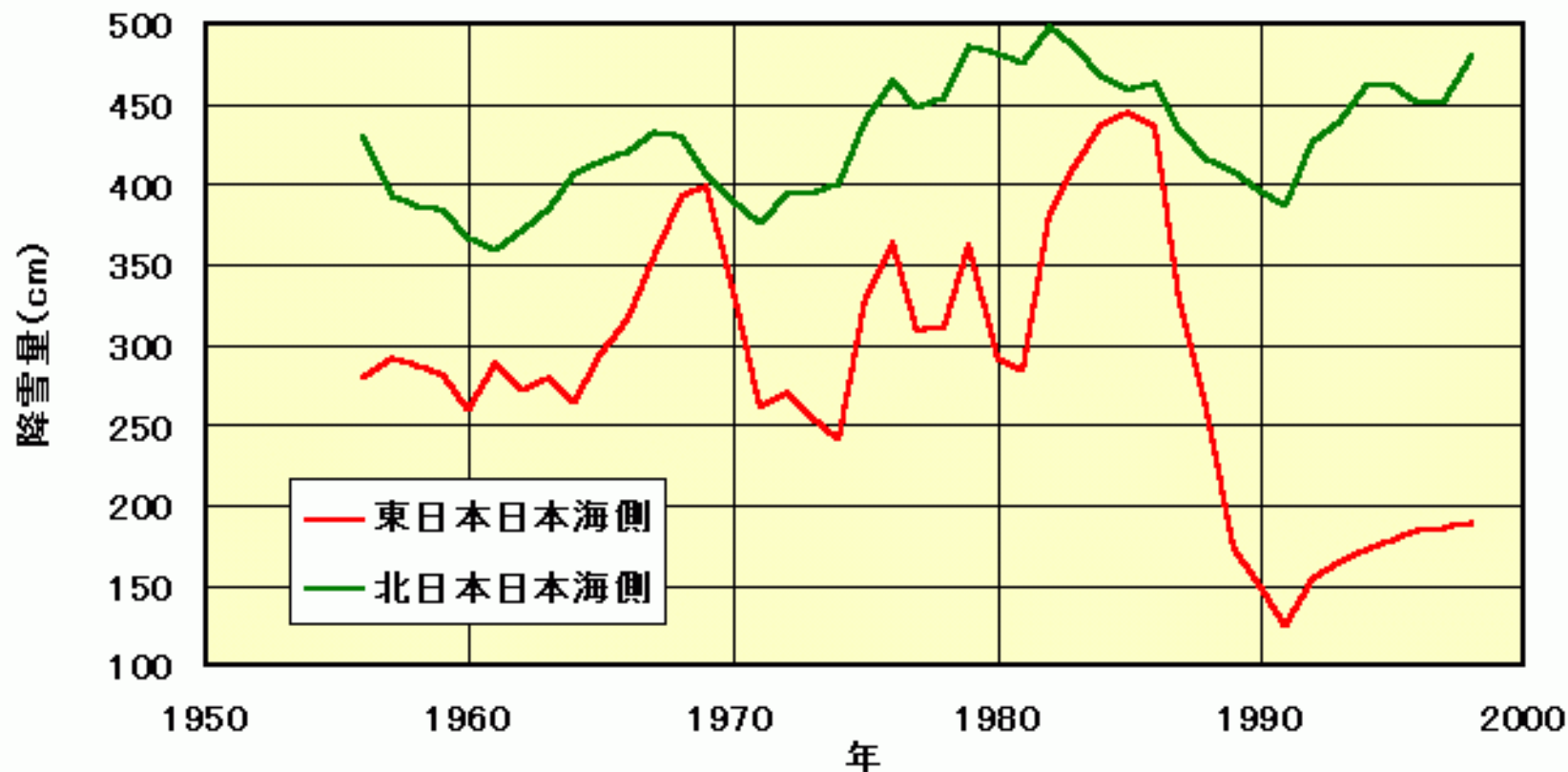
1890 1900 1910 1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010
年

日本海側の最深積雪平年比の経年変化 1960→2005

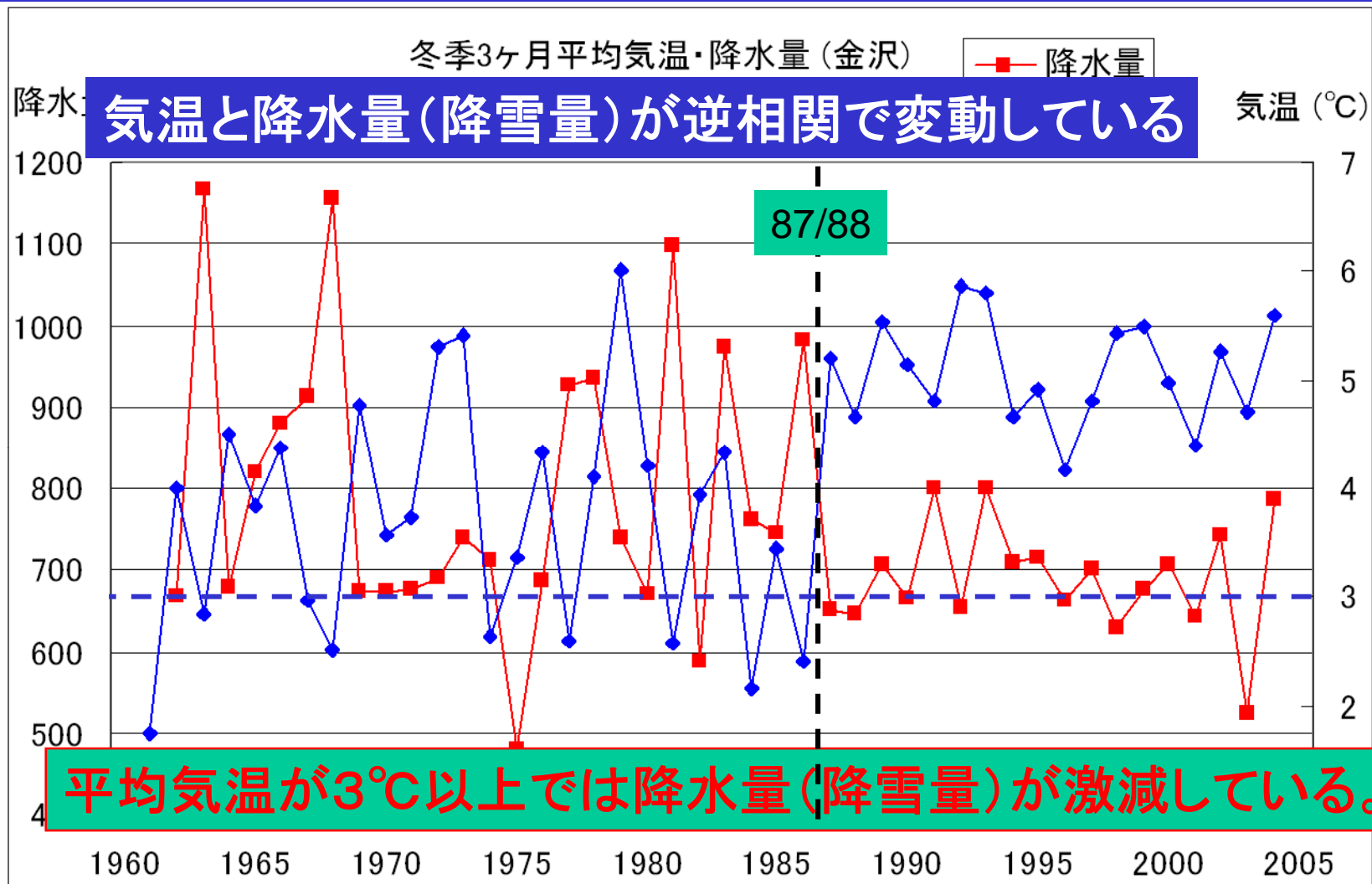


北日本日本海側と東日本日本海側の 年降雪量の経年変化

各値は年々の変動を取り除くため5年移動平均をしている



金沢における過去45年の冬季気温と降水量 (1961-2004)



世界各地の冬季気温と積雪(降水)量の関係

•北陸地域はぎりぎりの気温条件で降水が雪となっている世界でも珍しい地域である。

•北陸地域の冬季降水量(積雪水量)変動は気温が低い(高い)ほど多い(少ない)という世界でも特異な特性を示している。

⇒
「温暖化」により、冬季季節風も弱まると、積雪も降水も同時に減少する！。

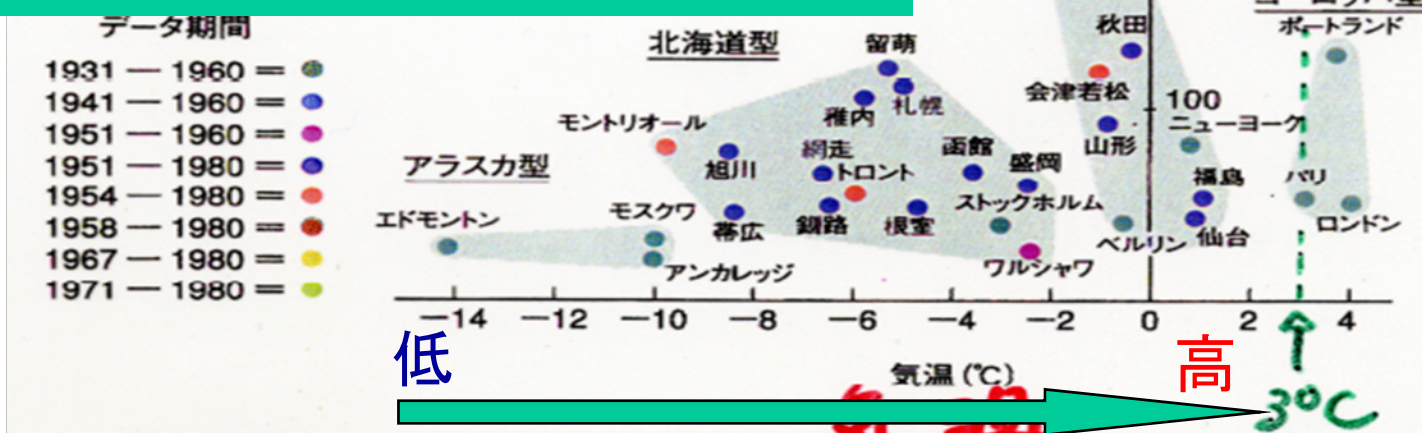
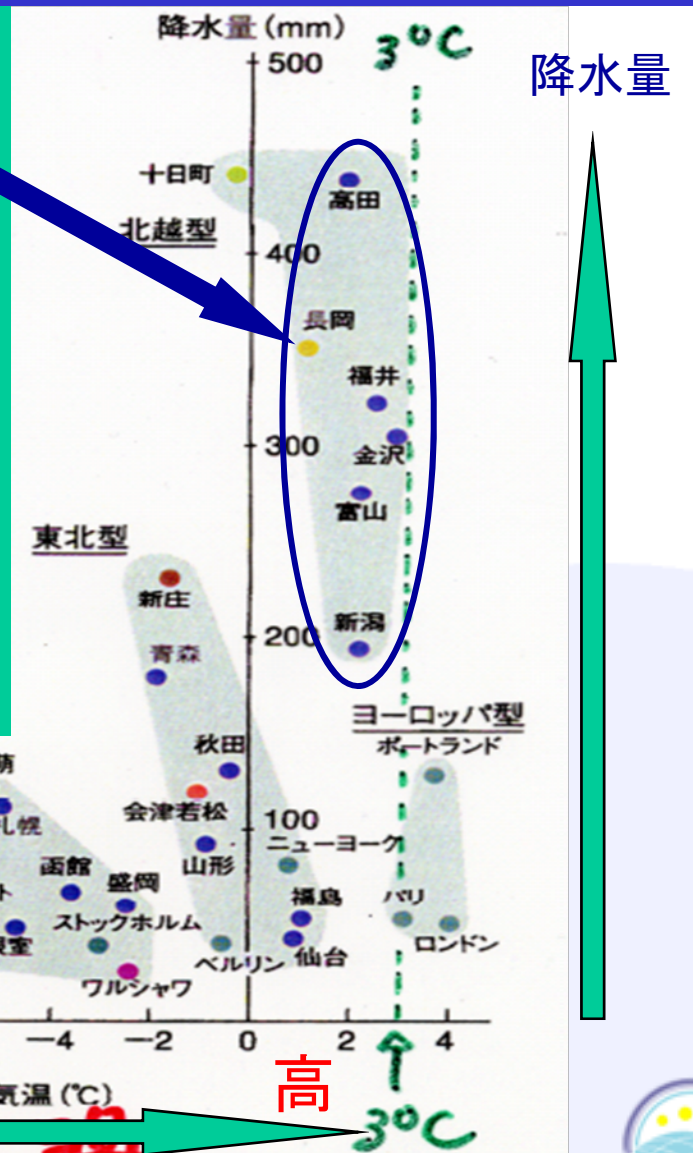


図 I 世界各地の1月の平均気温と降水量 (原田ほか、1988)



過去80年のシベリア高気圧の変動

1980年代後半から、ユーラシア大陸の温暖化によりシベリア高気圧が弱まり、日本海側の冬の雪が急激に減少！

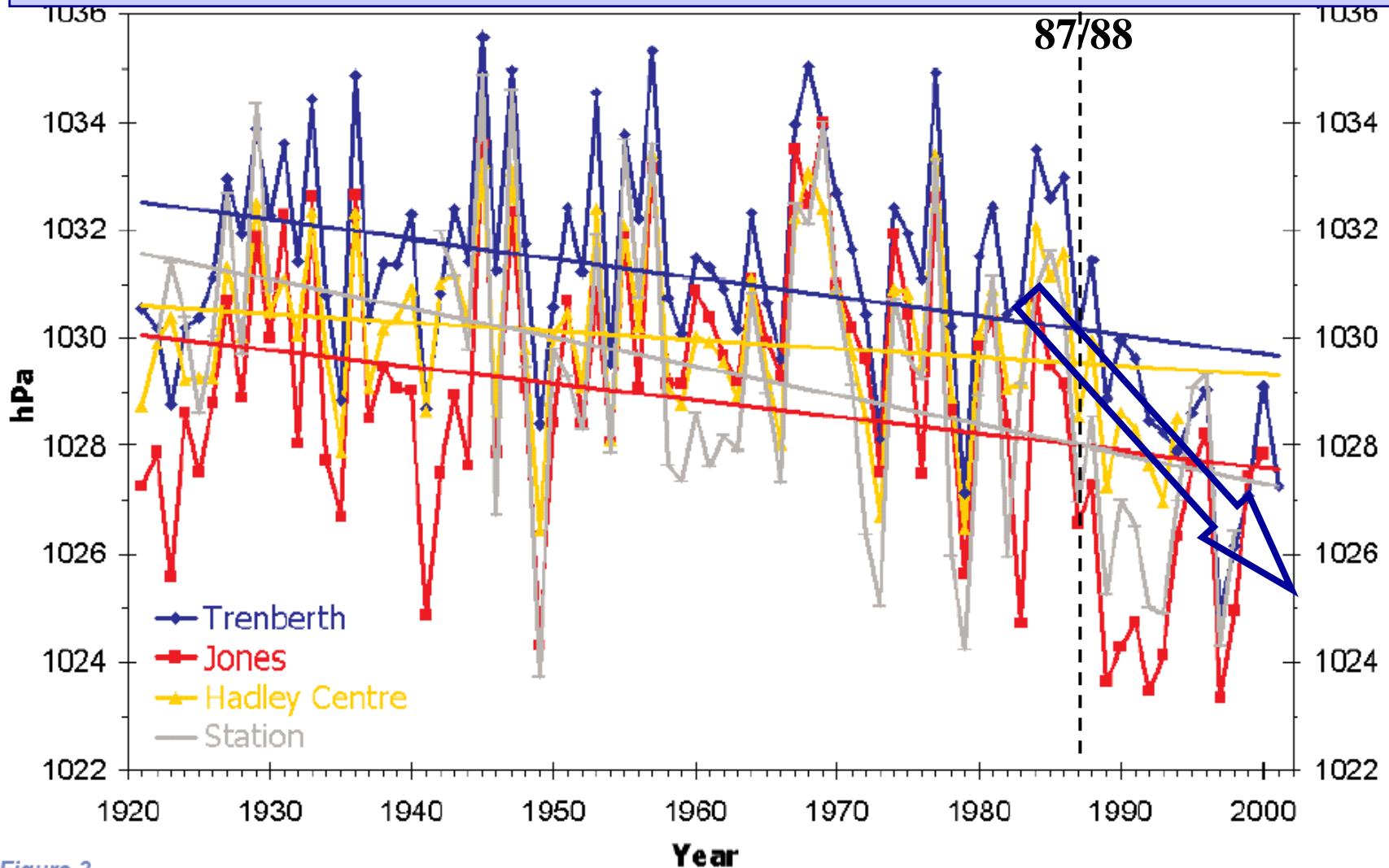
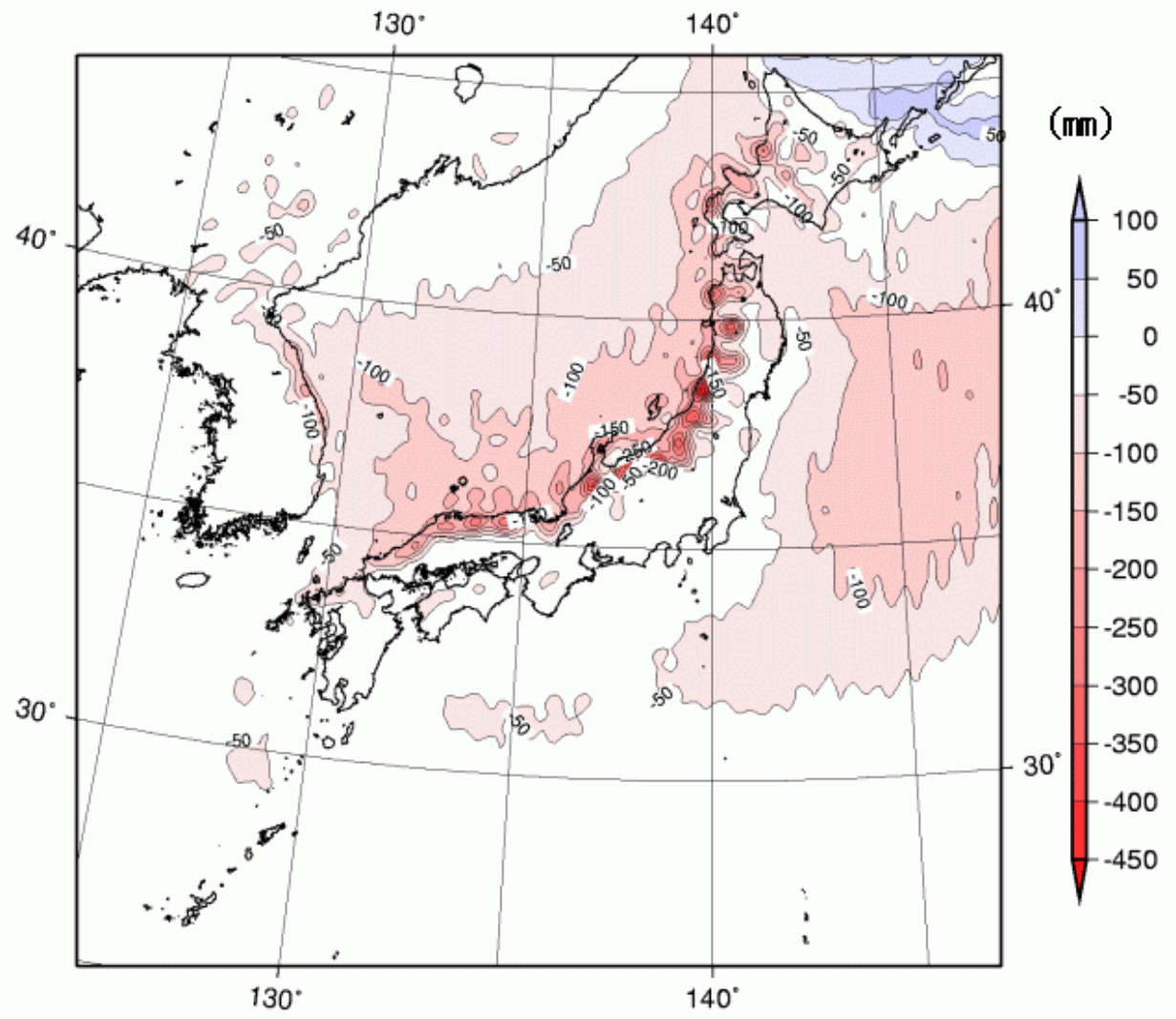


Figure 3



図54 約100年後の年降雪量の変化量予測(mm)

温室効果ガスの人為的な排出量が比較的高水準で推移する場合(A2シナリオ)の予測結果で、2081~2100年平均値と1981~2000年平均値との差。降雪量を降水量に換算した。



まとめ：全球、アジア、日本における降水量変動・変化 過去数十年の傾向と「地球温暖化」実験の予測の比較

- 「地球温暖化」実験が示している 全球的降水量増加やアジアモンスーン降水量増加の傾向は、まだ観測からは検出されていない。
- 中国では過去数十年、梅雨前線が活発化、その北側（黄河流域・内モンゴル地域）では、対照的に乾燥化が進行している。「地球温暖化」実験結果も類似の結果を示唆している？
- 日本では1960年頃から降水量の減少傾向と共に、大雨と干ばつの頻度が共に増加している。（変動度が増大している。）「地球温暖化」実験では、むしろ増加傾向であるが、変動度は大きくなっているモデルが多い。
- 日本（および東アジア）の強い雨（豪雨）の頻度は過去数十年～100年、増加傾向、弱い雨の頻度は減少傾向。ただし、1980年代以降、「地球温暖化」実験結果も、同様な変化を示している。
- 冬季の季節風（モンスーン）と寒気団の南下は、1980年代以降、急激に弱まり、暖冬傾向が続き、日本海側の降・積雪は大幅に減少している。
「地球温暖化」実験でも、冬季モンスーンの弱まりは顕著で、日本海側の降雪・積雪は大幅に減少する予測となっている。
- 冬季季節風の弱化はシベリア高気圧の弱化と関連しているが、「地球温暖化」実験では、むしろ北太平洋上の大気循環の変化が関係している。



水資源確保・水災害防止の視点からみた 21世紀の降水変化の特性と課題

- 梅雨期は増加の可能性もあるが、年降水量は減少か増加か微妙？
- 干ばつと洪水(豪雨)の頻度が共に大きくなる可能性
⇒夏季降水量変化の予測は非常に難しい
(梅雨前線のわずかな位置のちがいで大きく傾向は変わる)
- 冬季の積雪による水資源の激減の可能性
⇒山岳地域での変化の量的予測・推定が重要？

