



水循環の衛星観測 ~ その展望

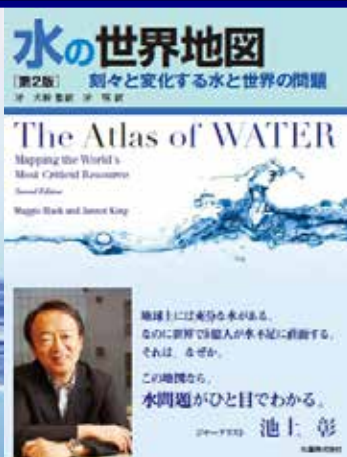
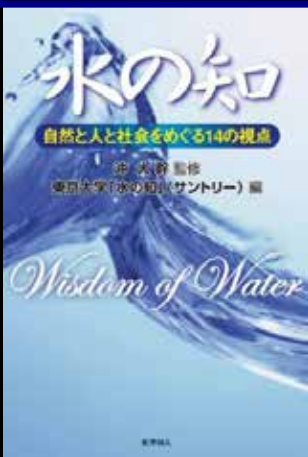


沖 大幹

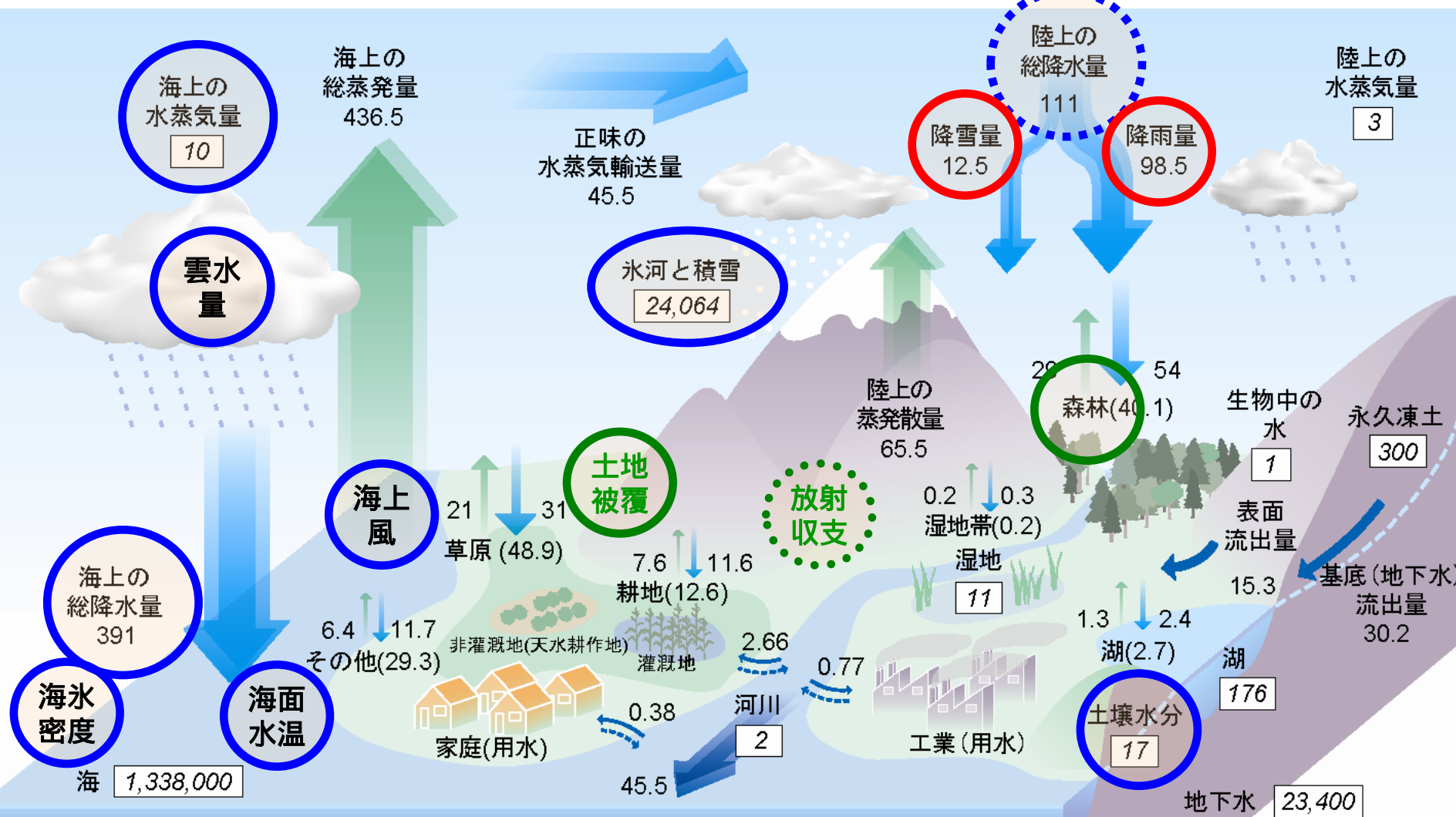
東京大学 生産技術研究所
JAXA/EORC



水惑星の安心を見守る 熱帯降雨観測衛星(TRMM)衛星17年間の成果
日本橋三井ホール、2015年2月19日



地球の水循環の衛星観測



(Oki and Kanae, *Science*, 2006)

GCOM W1

GCOM C1

GPM

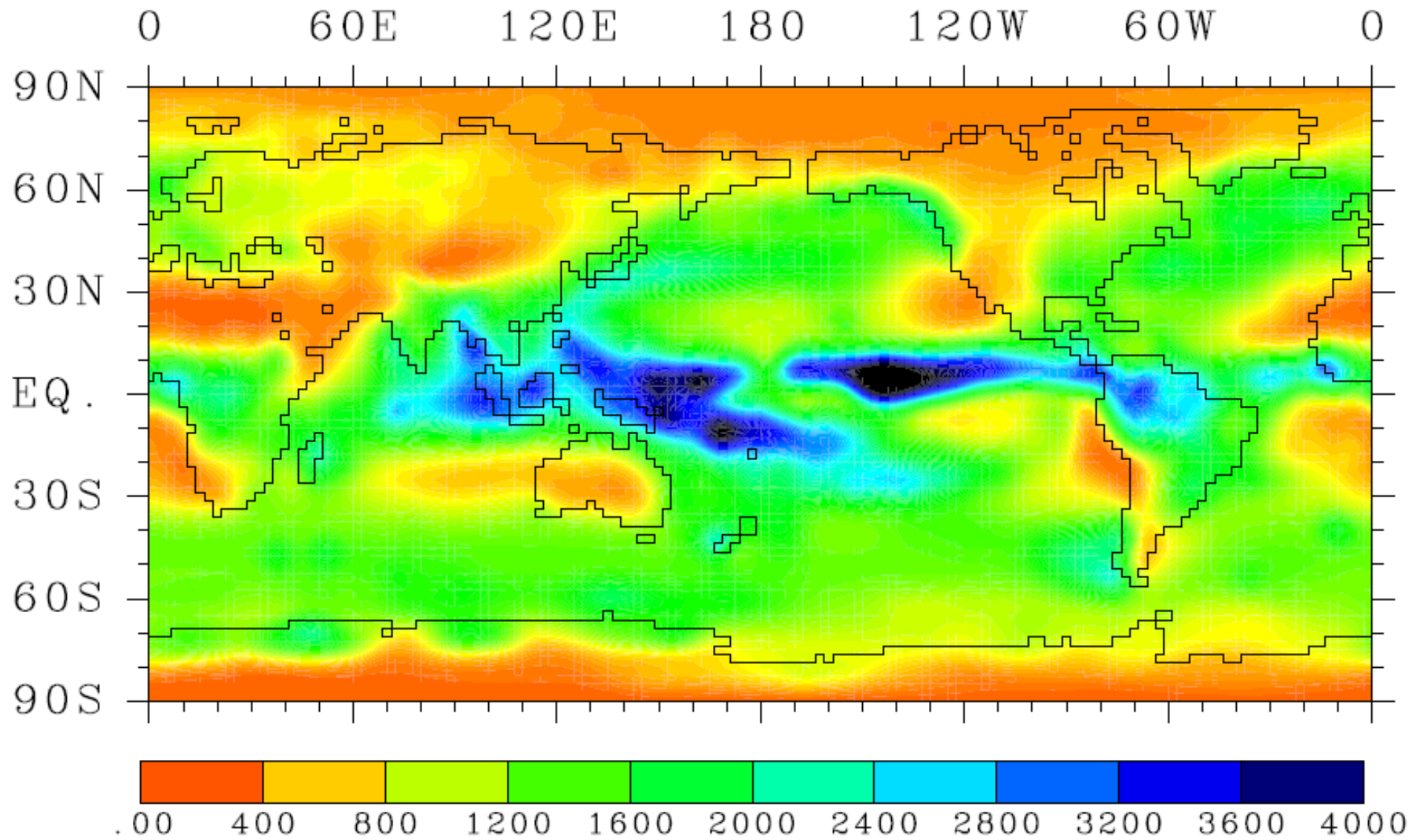
↑ ↓ 循環量, 10³ km³/y

□ 貯留量, 10³ km³

() 面積, 10⁶ km²

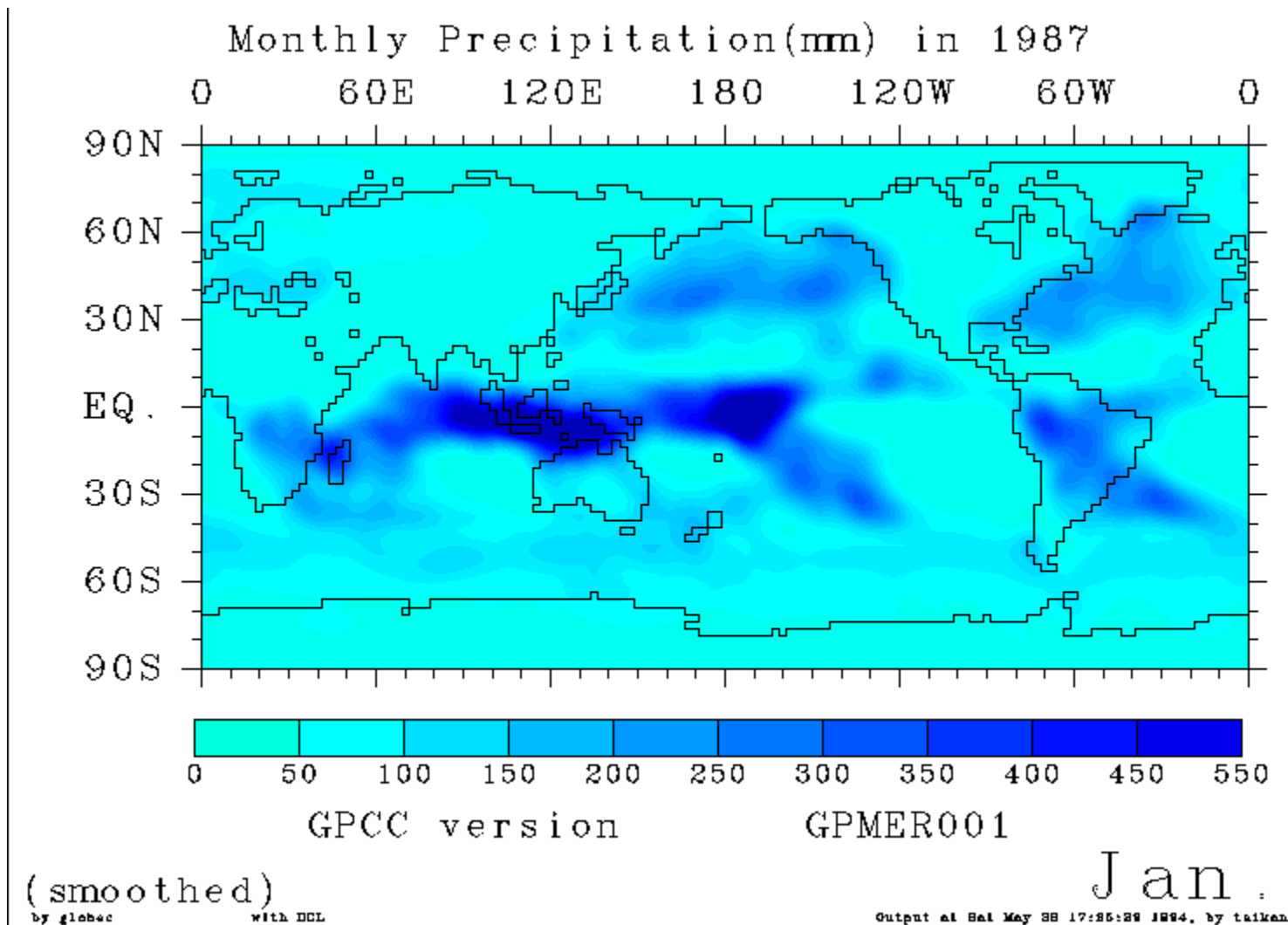
(南極大陸に関しては氷河のみ考慮)

1990年代に利用していた年降水量データ(mm/y)



(from D. Legates, 1989)

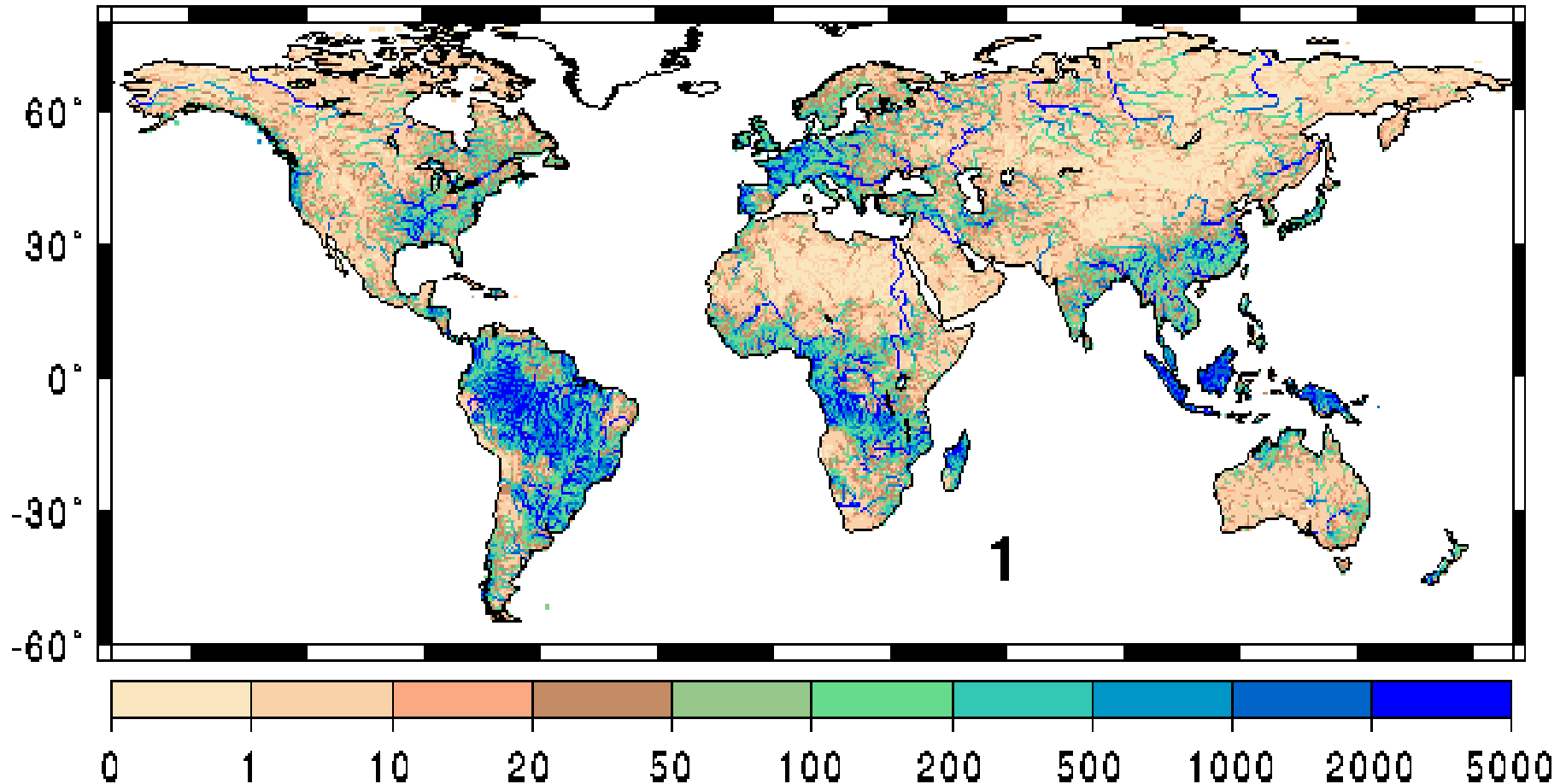
GPCCによる1987/88年月降水量データ (mm/月)



“観測”降水量に基づいて算定された 月平均流量(1987年と1988年の平均)

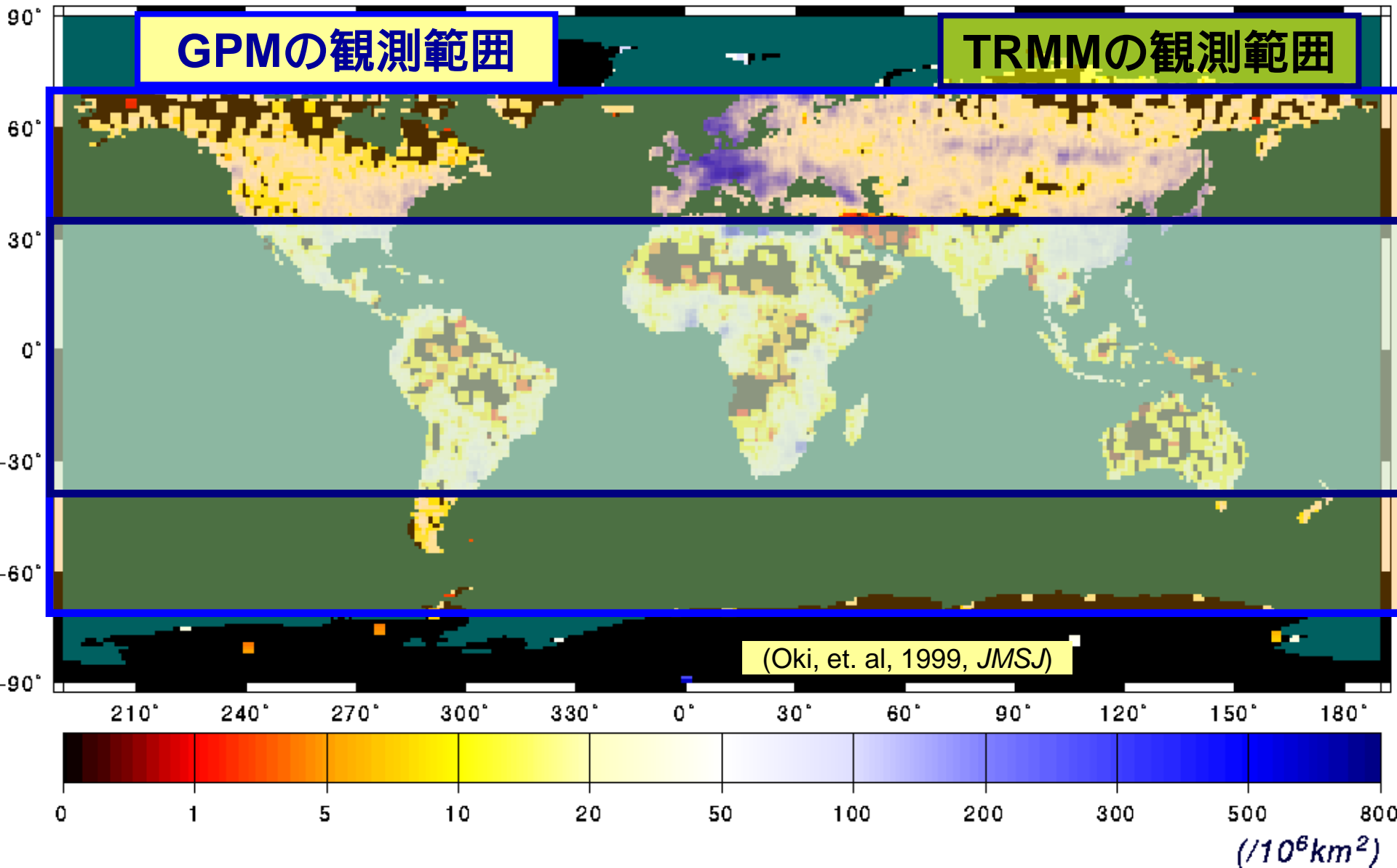
[$10^6 \text{ m}^3/\text{month}/0.5^\circ\text{grid}$]

210° 240° 270° 300° 330° 0° 30° 60° 90° 120° 150° 180°



1987/88年頃の利用可能な雨量計密度とTRMM/GPM

Density of Raingauges Used for GPCP 1987/88



JAXA/ EORC 世界の雨分布速報

http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/

台風8号の平成26年7月3日～7月7日の期間の3時間毎のアニメーション

世界の雨分布速報
JAXA GLOBAL RAINFALL WATCH

最新観測: 2015/07/06日 (13時52分27秒(JST)) (2015/07/06 6:53:27 UTC)

Date: 2014 / 7 / 3 04:00-04:00 UTC 高度: 高

全データ Googleマップレイアウト

観測: 0.015 Terra/Minute 300km 時間切れ

Rain: 0.1 0.5 1.0 2.0 3.0 5.0 10.0 15.0 20.0 25.0 30.0 (mm/hr)

QIFアニメーション: 観測者から見た時間軸表示

観測時刻 観測区分 観測領域 観測高さ

Google.com/jaxa

世界の雨分布速報では、世界の雨分布を準リアルタイム（観測から約4時間遅延）で1時間ごとに複数の衛星（GPM-Core GMI, TRMM TH1, GCOM-W AMBRO, DMSPシリーズ、SSMIS、NOAAシリーズ AMSU, MetOpシリーズ AMSU, 静止気象衛星 IR）を利用して提供しています。なお、世界の気象衛星には、海洋大型（NOAA）気象予測センター（CPC）の作成による全球データを利用しています。このデータは、気象庁の静止気象衛星ひまわり（MTSAT）、米海洋大型（NOAA）の静止気象衛星GOES、欧州気象衛星機関EUMETSATの静止気象衛星Meteosatの観測値を利用しています。

準リアルタイムデータ利用のユーザ登録について

データそのものの利用には、ユーザ登録が必要です。準リアルタイムデータは、2014/09/02以降は、約5日後に気象衛星がアップロードされた後、Webサイトから削除されます。新バージョン（GSMaP_MV6 ver.6.0001）による再観測は、現在は2014/05/01以降のデータのみ利用可能ですが、過去期間分については観測処理の上公開します。旧バージョン（GSMaP_MV6 ver.5.222）は、2009年3月～2010年11月について公開されており、新バージョンの処理が全期間完了した後に削除する予定です。

ユーザー登録

共同研究機関について

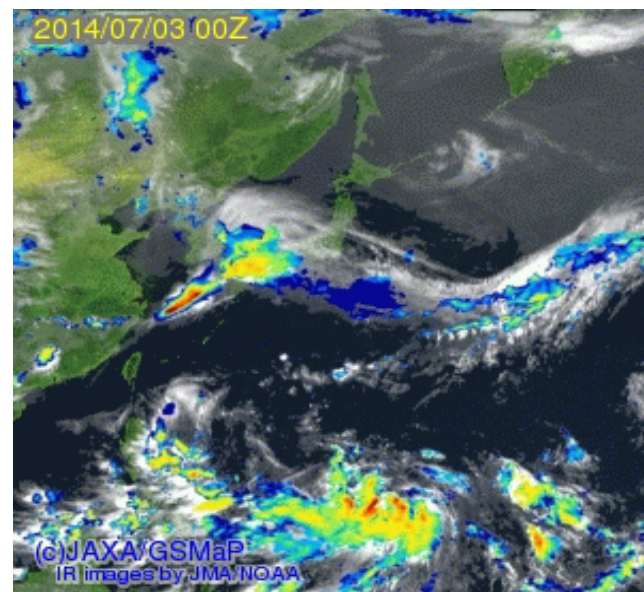
GSMaPプロジェクトは、現在、JAXAと下記機関の共同研究の下で開発・改良が進められています。

気象庁 気象研究所 東京大学大学院工学系研究科 大気圏電子工学 大気圏科学研究所 東京大学 大気圏科学研究所

GSMaPプロジェクトの協賛は、気象庁のワークショップのレポートの日常気象観測水マップの提供の一環として、基盤で行われています。

日本城（東京大学とJAXAの共同研究）
予の観測領域（オーストラリア、北米、南米、欧州）

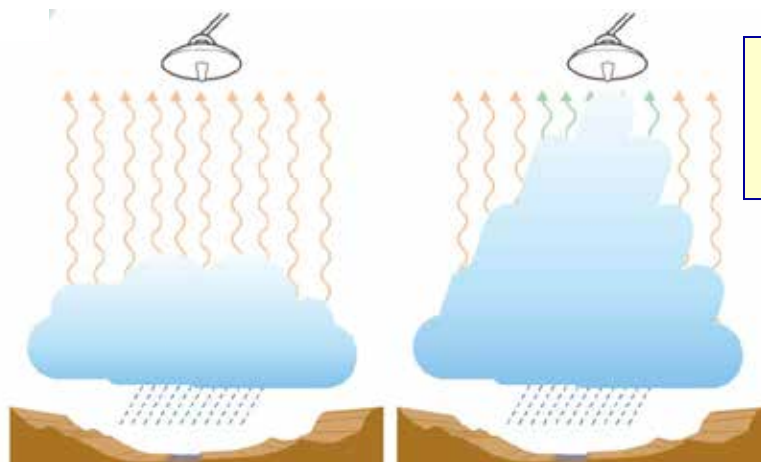
JAXA EORC 宇宙気象観測衛星 気象観測センター



熱帯降雨観測衛星 (TRMM) などの地球観測衛星の観測データを用いて、準リアルタイム (**観測後約4時間**) での高分解能の**世界の雨量の分布図**を作成し、その画像をインターネット上で公開。1時間毎に提供 (更新)、過去24時間の雨分布のアニメーション画像や、GoogleEarthでも見ることができる。

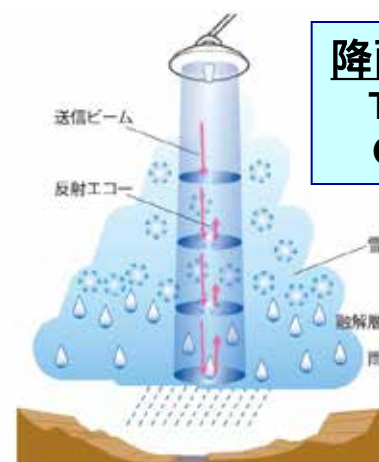
衛星による雨の観測手法

雲の頂上の温度(雲の高さ)を測る



可視・赤外放射計
ひまわり/JAMI
TRMM/VIRS

雨粒の鉛直分布を測る

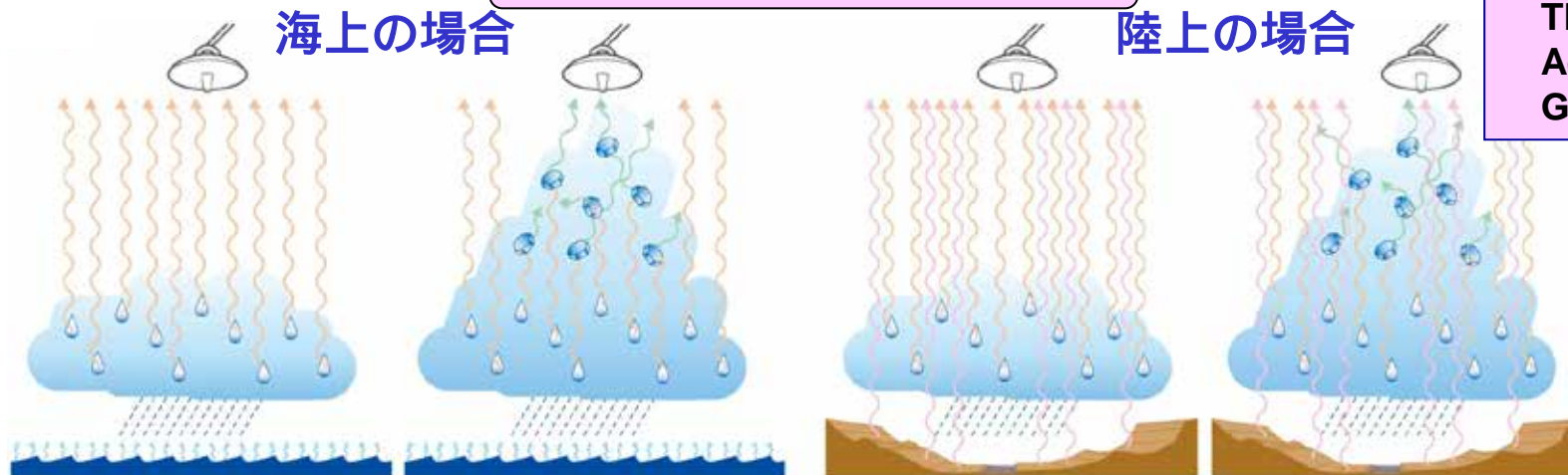


降雨レーダ
TRMM/PR
GPM/DPR

雨粒や氷粒の水平分布を測る

海上の場合

陸上の場合

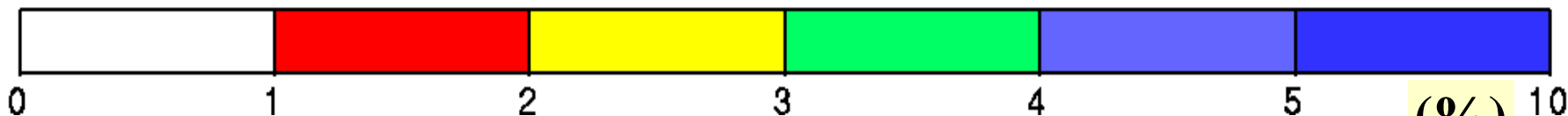
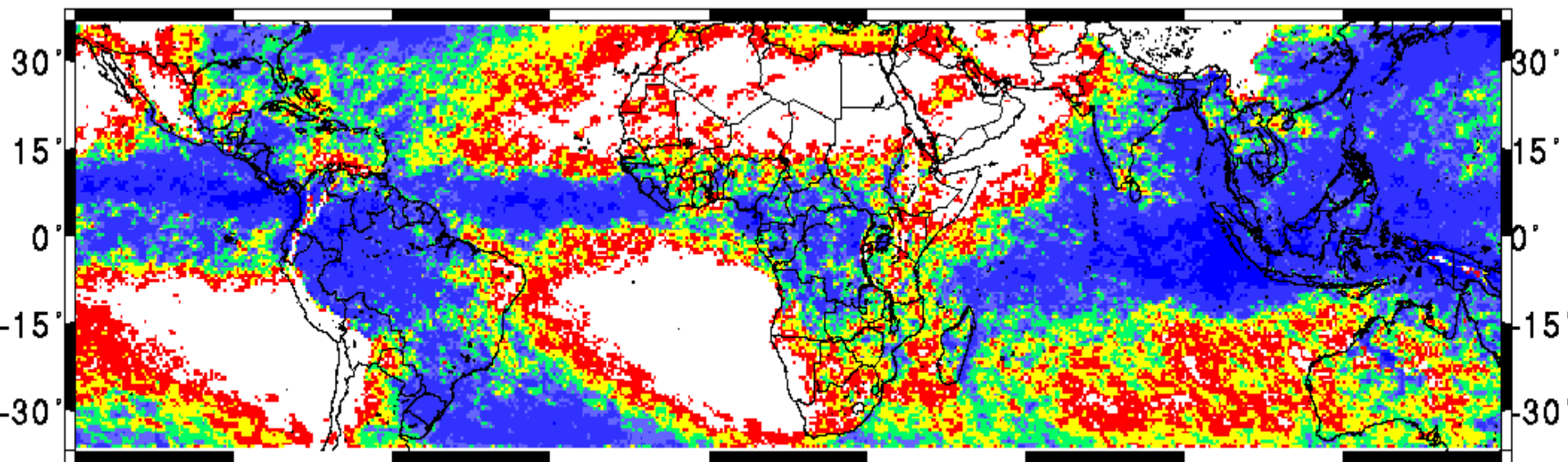


マイクロ波放射計
TRMM/TMI
Aqua/AMSR-E
GCOM-W1/AMSR2

水は誘電率が高い

TRMM/PRによる 降水観測時間割合(%) (1998年)

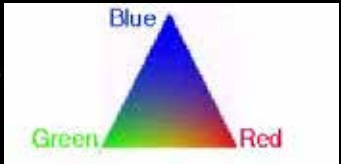
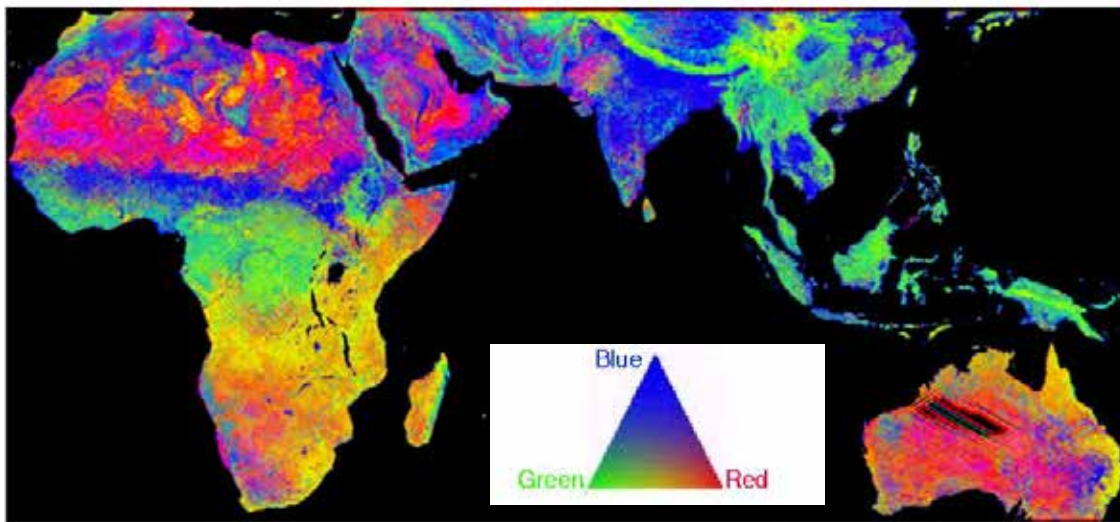
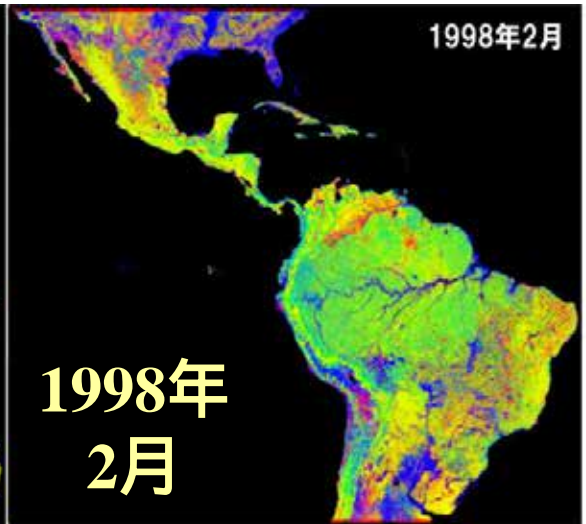
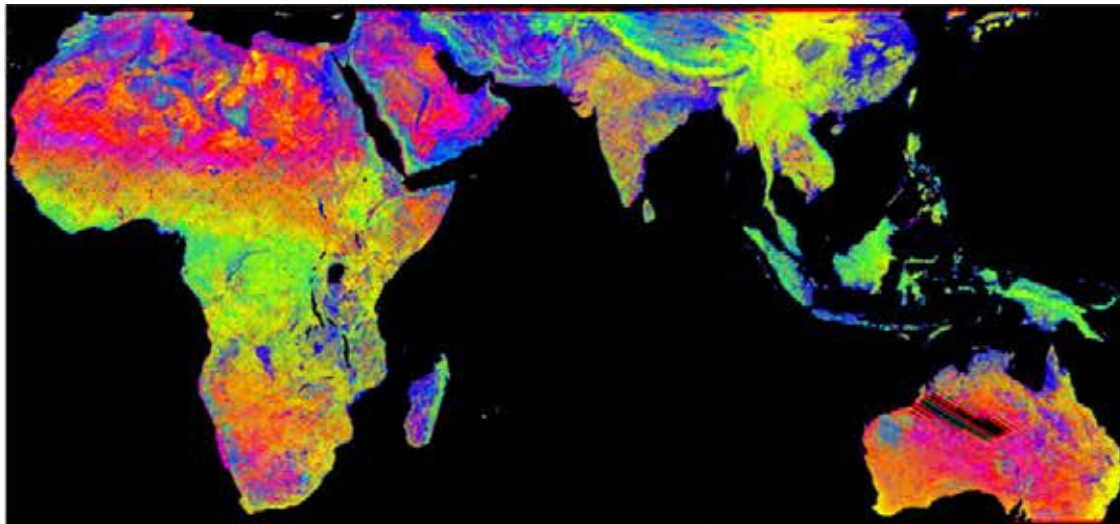
RATIO OF NON ZERO RAIN (1998 ANNUAL)



(瀬戸心太博士による)

(%)

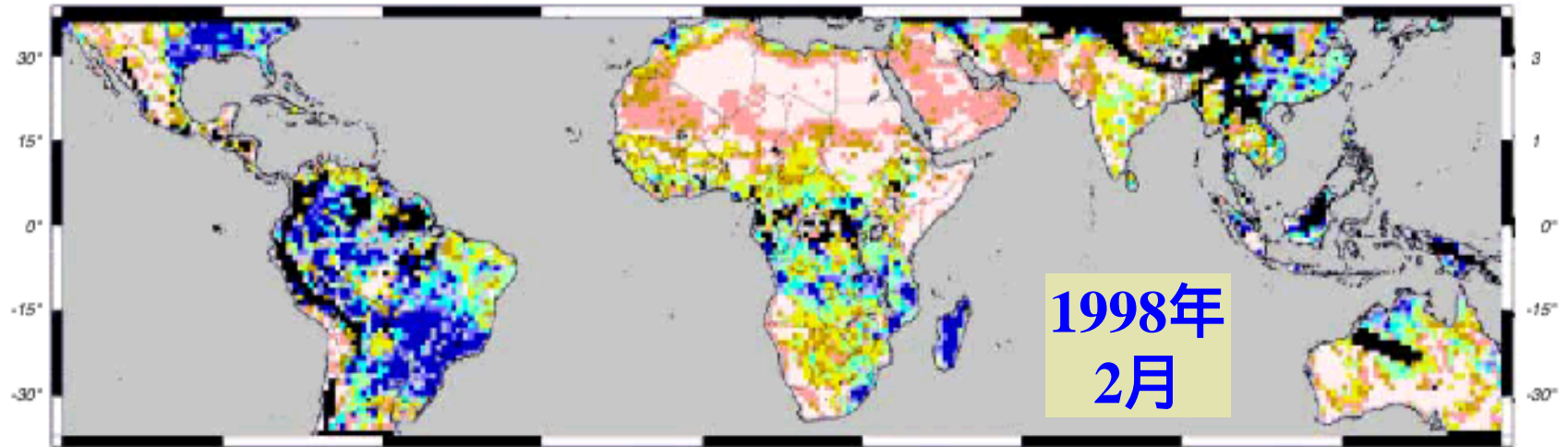
衛星搭載降雨レーダによる地表面観測



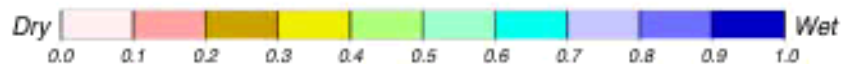
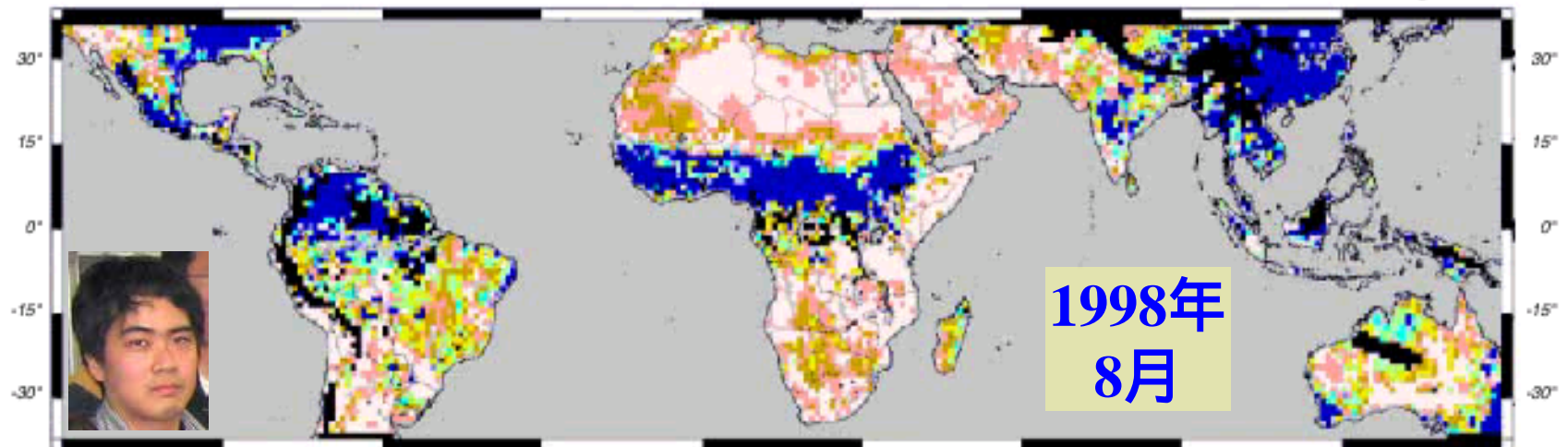
緑: 森林密度に対応 (3-8度)
青: 水面・土壌水分に対応 (9-13度)
赤: 裸地・荒地に対応 (14-18度)

熱帯降雨観測衛星(TRMM)搭載
降雨レーダ(PR)、波長約2cm

TRMM/PR観測に基づき推計された 熱帯域の土壌水分量



Aug. 1998

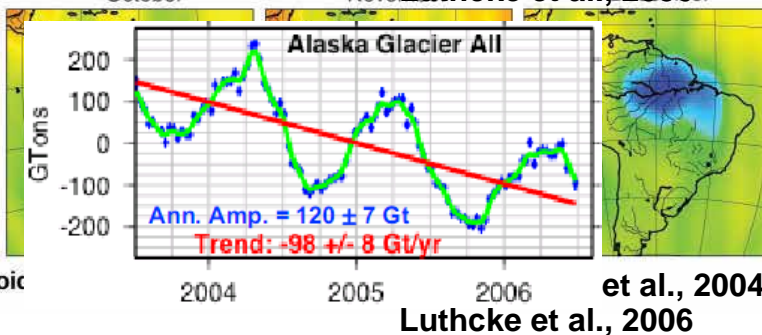
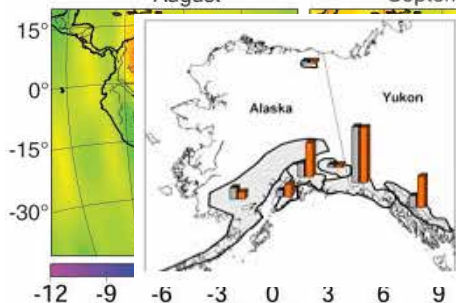
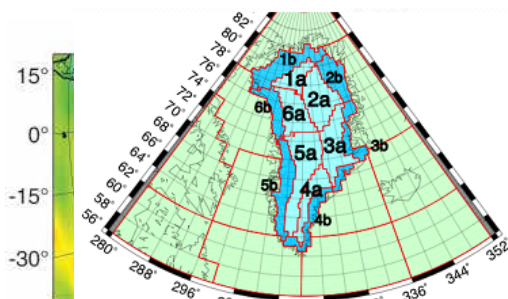
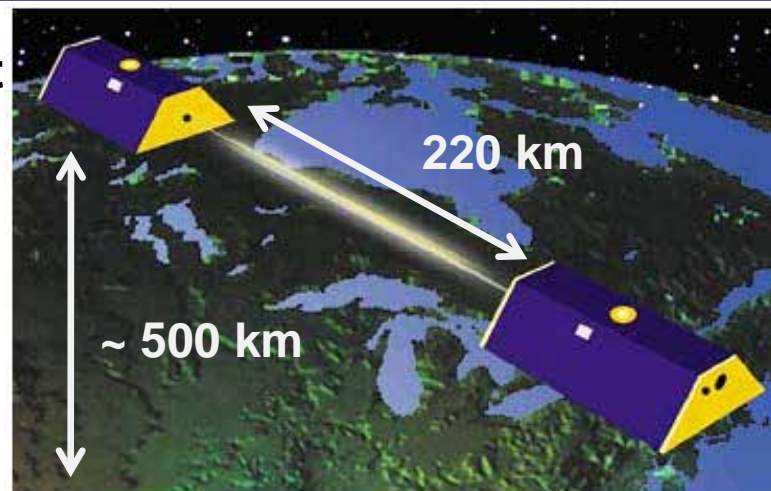


(Seto, et. al, 2003)

陸水総貯留量推計by重力場の衛星観測

Gravity Recovery And Climate Experiment

双子の衛星間の距離を $\sim 10\mu\text{m}$ (髪の毛の太さの1/10)の精度で測定し、地球周辺の重力場の変動を推計。大気や海洋の影響を除去すると、雪や氷河、土壌水分や地下水など陸水総貯水量の変動が推計できる。
2002年にNASAによって打ち上げられた。



時間解像度

1日~1ヵ月

空間解像度

1.25deg. ~ 5deg.

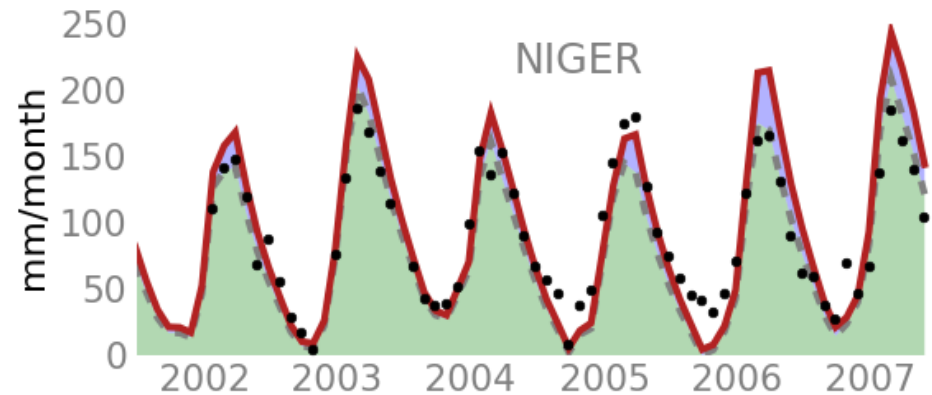
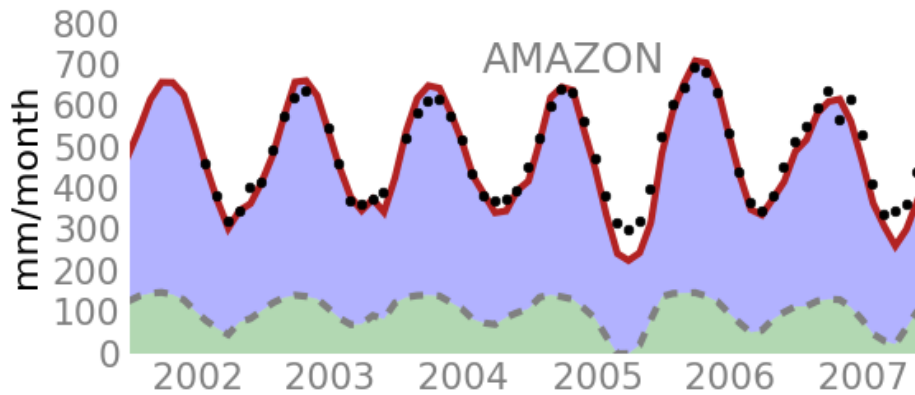
誤差

20mm RMSE

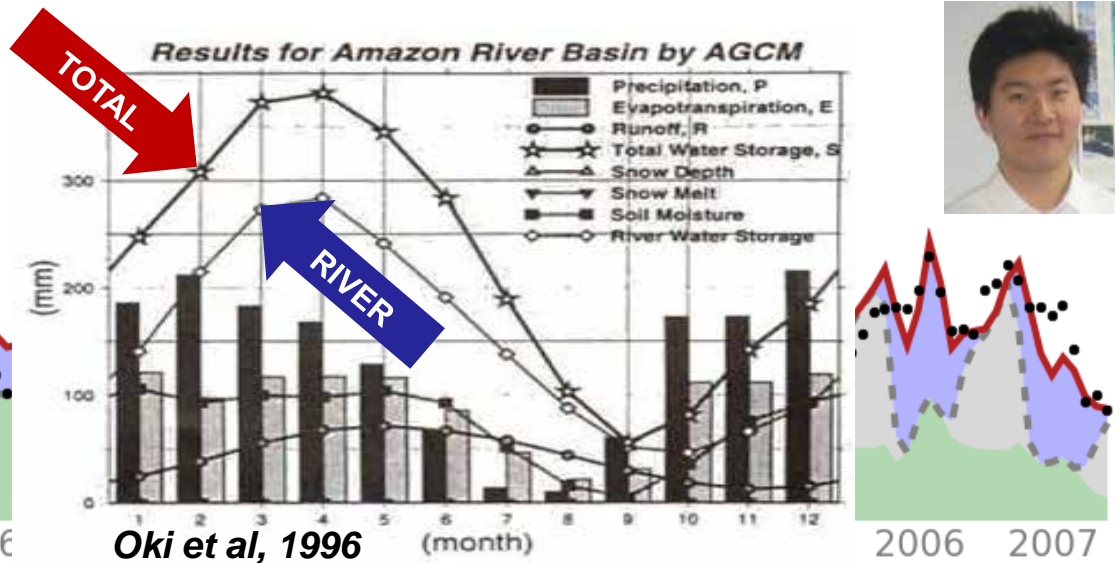
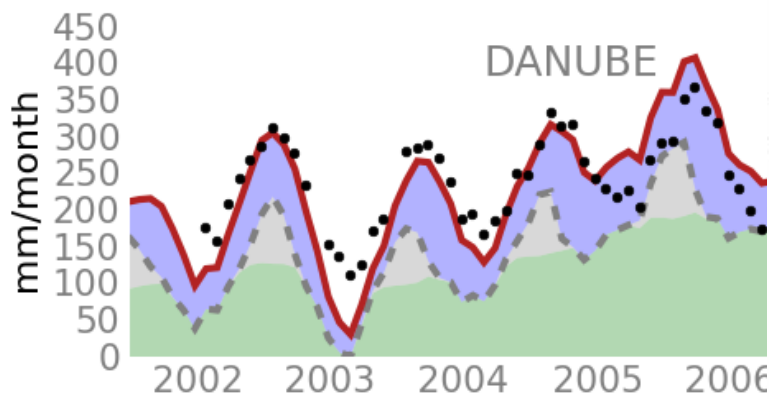
(中緯度)

改良されつつある

大河川流域の陸水総貯水量の変動



- RIVER
- SOIL
- SNOW
- GRACE
- TWS
- TWS (w/o RIVER)



・衛星による地球周辺の重力場観測から推計された陸水総貯水量の変化
折れ線グラフの間の色は上から河道貯留、積雪、土壤水分の寄与分を示す。

CaMa-Flood 全球・地表水動態モデル



解像度: 全球25km (現状で、将来的には4km?)
浸水深さをDEM上にダウンスケーリング(500m)

流下計算: 局所慣性方程式、準2次元の河川・氾濫源流れ
サブグリッド物理として
浸水域・浸水深の計算

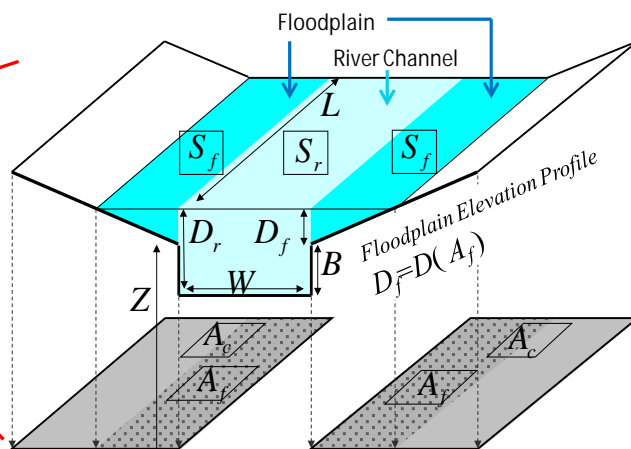
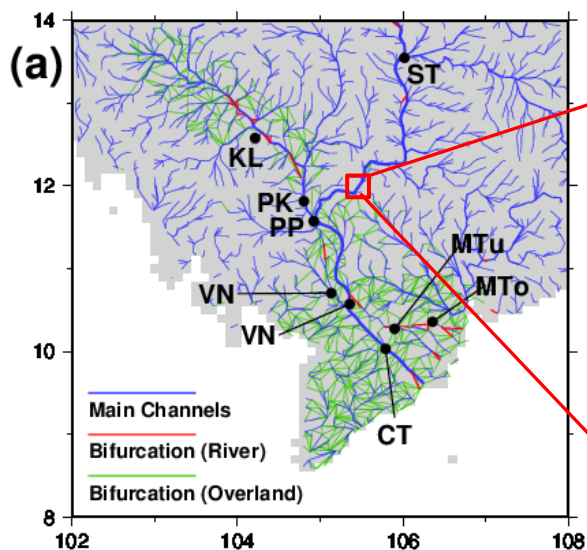
$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} + i_0 - i_f = 0$$

Kinematic

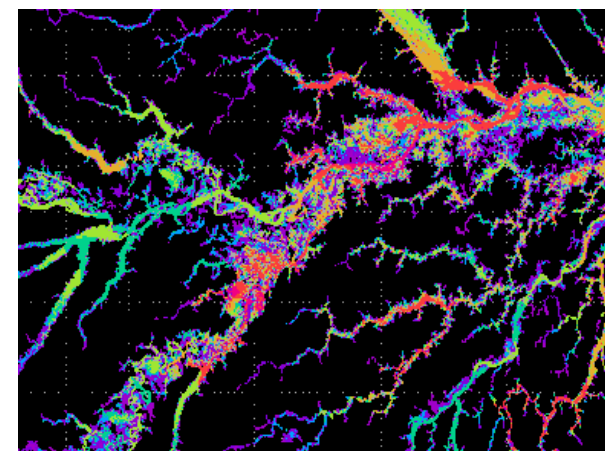
Dynamic Diffusive

出力: 流量・流速・水深・
浸水域・貯水量

St. Venant Momentum Equation



サブグリッド地形

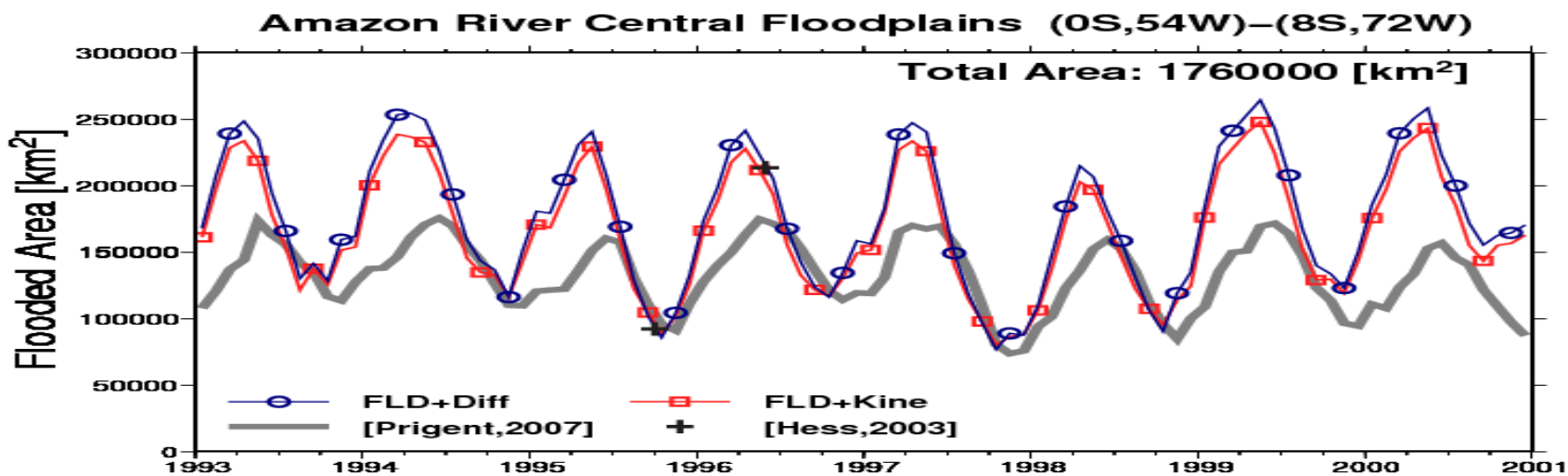
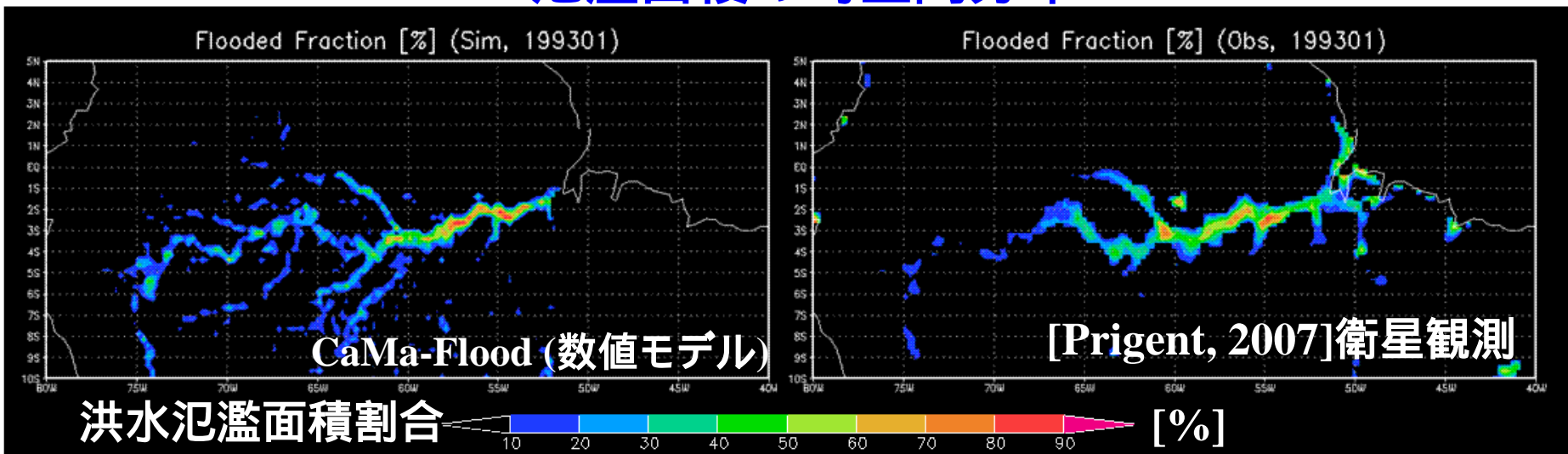


浸水深さダウンスケー

河道網(分岐あり)

アマゾン川の洪水氾濫の監視

氾濫面積の時空間分布



(Many thanks to Drs. Prigent and Hess for providing the satellite datasets)

史上最悪の洪水経済被害(EM-DAT, 2012)をもたらした

タイの洪水2011

S 死者・行方不明者813人、1360万人に影響

S 18,291 km²の農地被害面積、150億m³の総氾濫水量

S 7工業団地804企業(日系449社)が浸水被害

S 1兆3,600億B = 資産損害6,600億B+機会損失7,000億B

ü サプライチェーンè ハードディスク、自動車

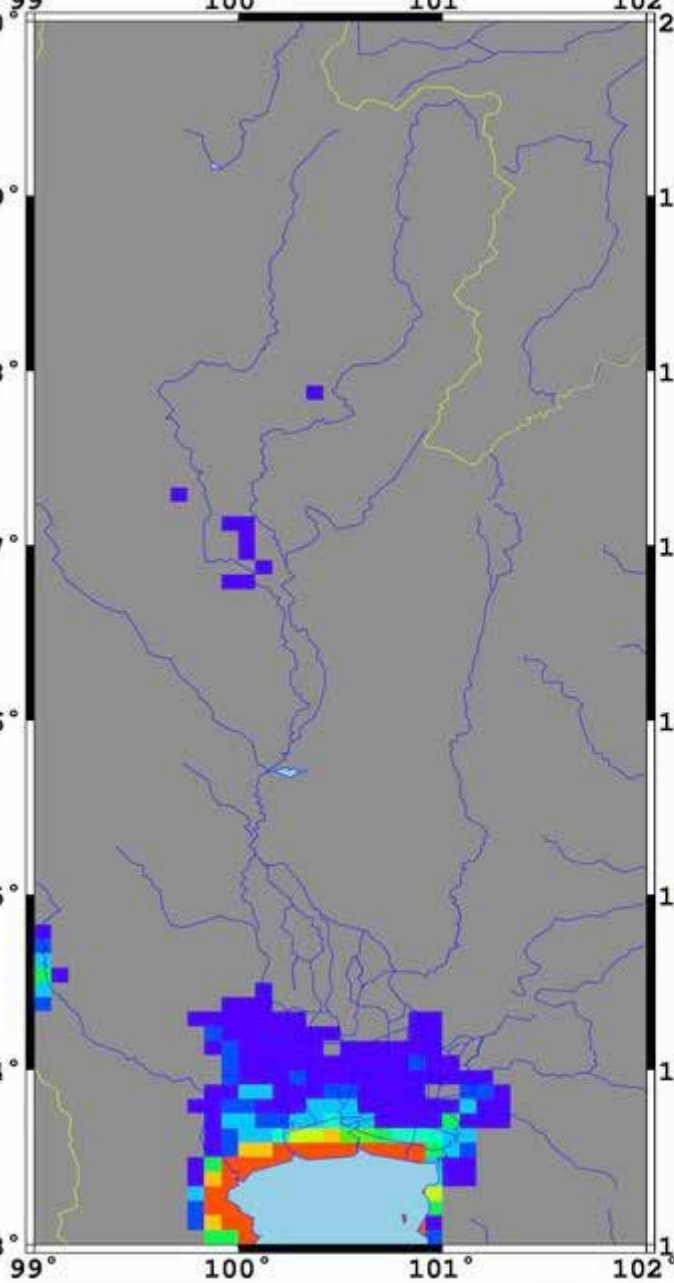
S 2011年の経済成長率は0.1%に減速(3.2/2.7/3.7/-9.0)

S 日系損保による保険支払額約9000億円(含再保険) >
東日本大震災の企業向け地震保険支払額約6000億円

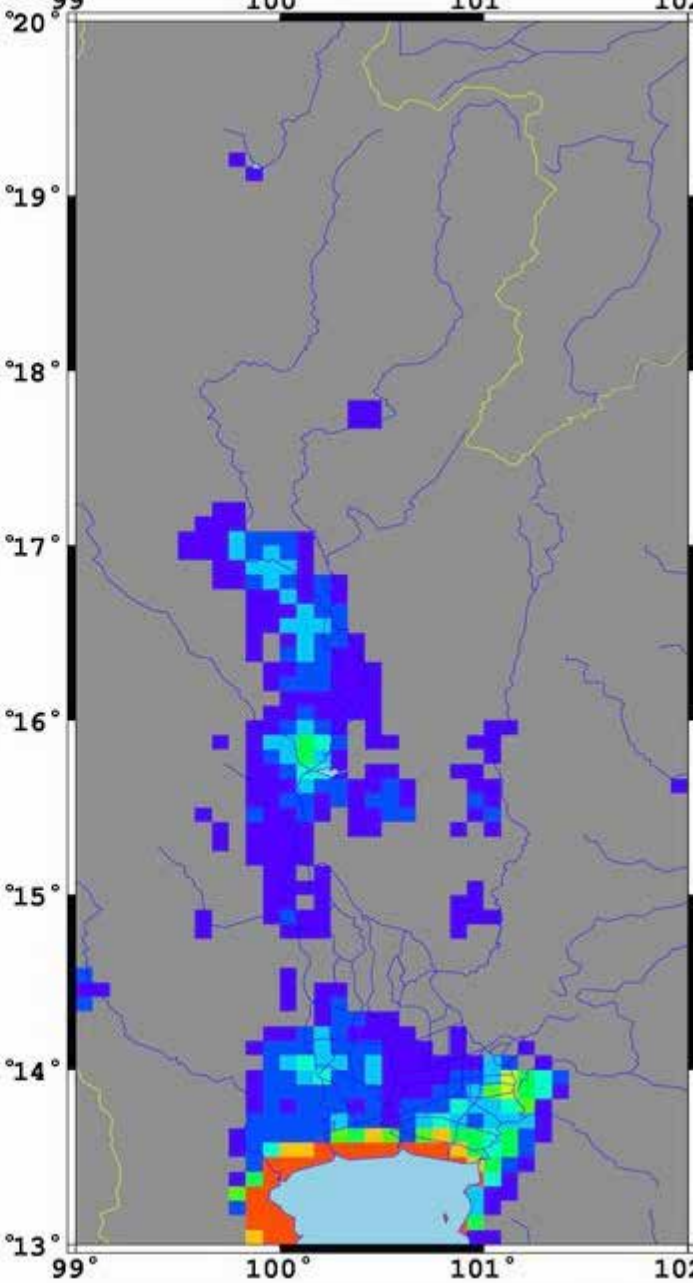
自国の領土を越えた国土が日本の豊かで健康で文化的な暮らしを支えているè 世界の安定と幸せの実現が必要

Flood Map (2010/04/30)

Flood Map (2011/04/30)



0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Land Surface Water Coverage (%)

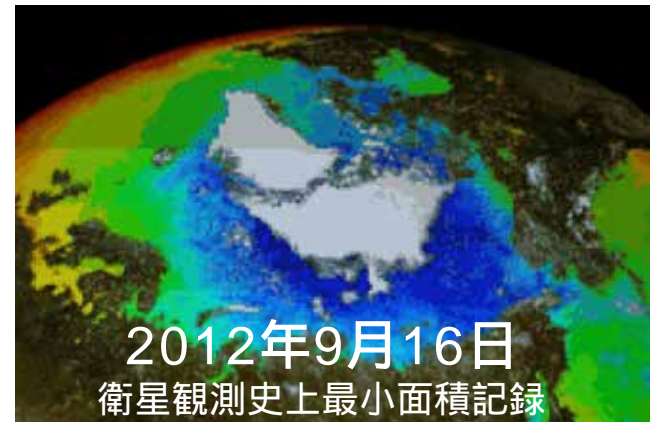
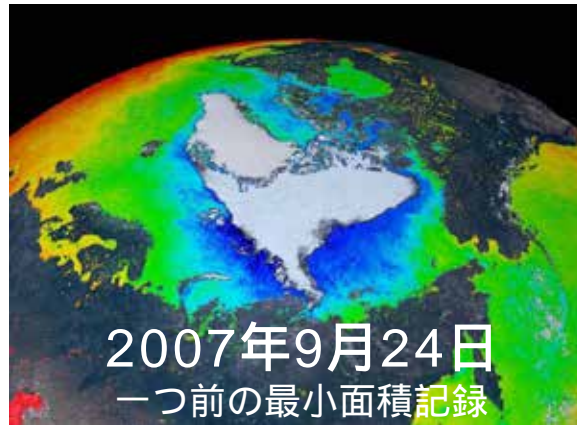
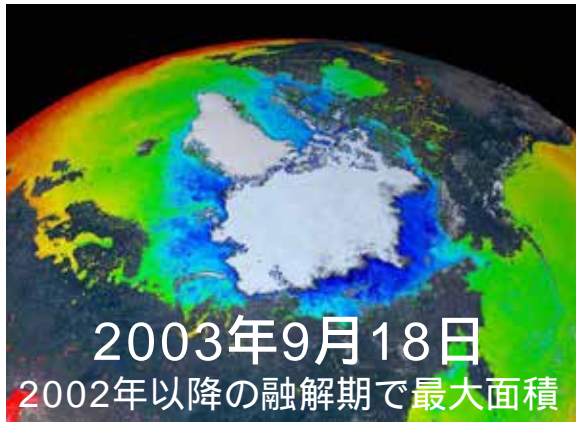
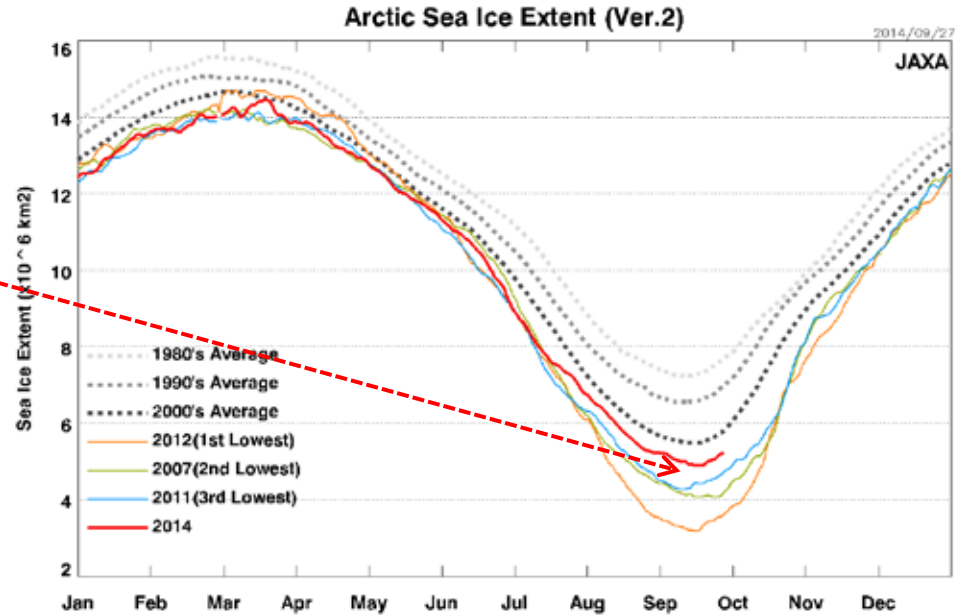
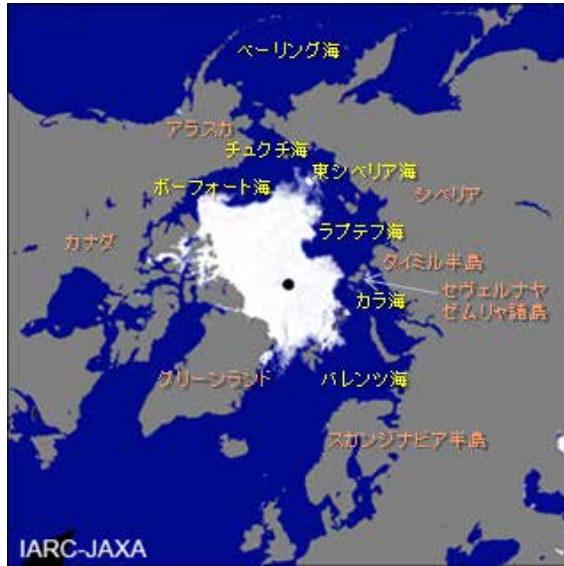


0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Land Surface Water Coverage (%)

衛星観測による
 チャオプラヤ川
 流域における
 2010年、2011年
 の水面面積割合
 の推計
 (AMSR-Eに基づく、
 竹内渉、東大生研)

S 水害が深刻
 化した10月
 初めに
 AMSR-Eは
 運用停止...

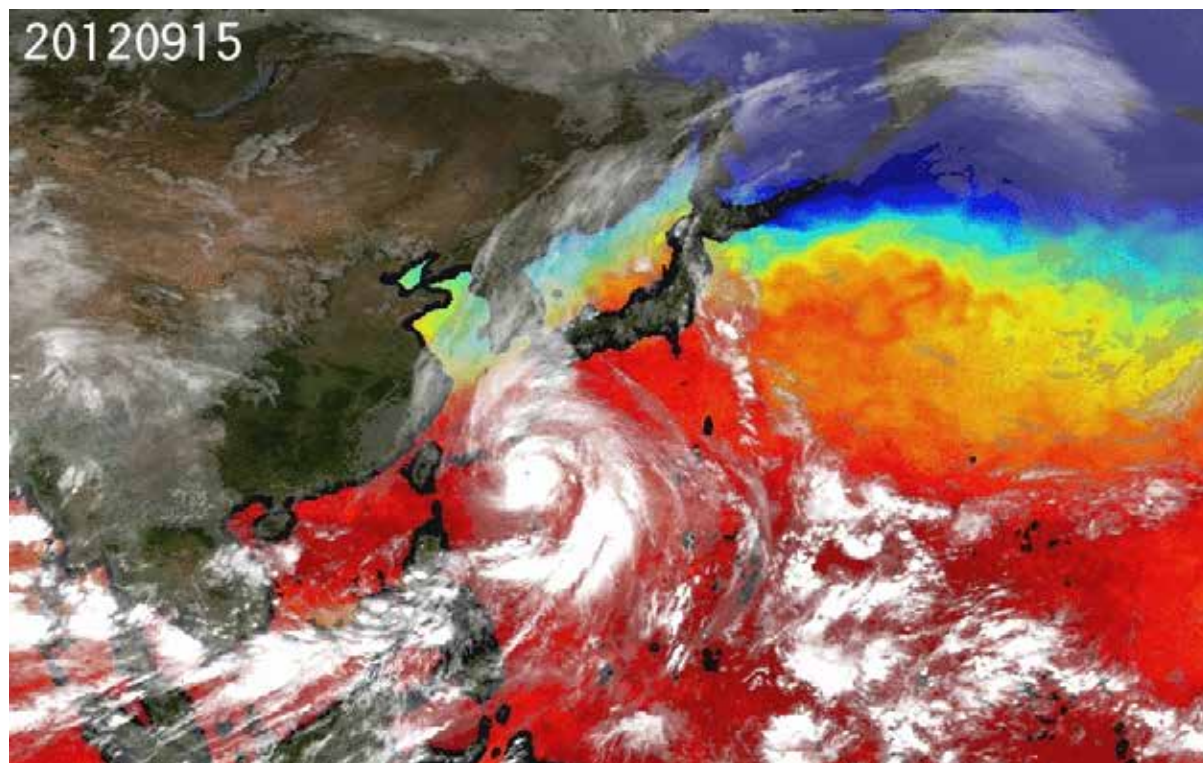
昨年の状況
 2014年
 9月17日



- 2012年9月に、これまでの衛星観測での最小面積349万 km^2 を記録。従来の最小記録は2007年9月の425.5万 km^2 だった。
- 地球温暖化の進行に伴いさらなる雪氷域の減少等全球水循環変化が予測される。



AMSR2による 全天候海面水温観測

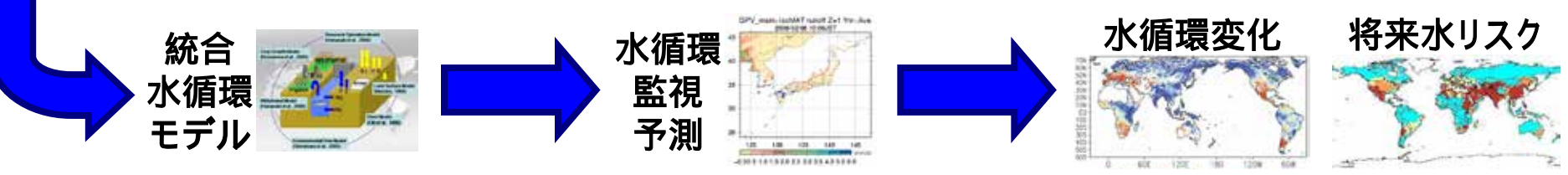
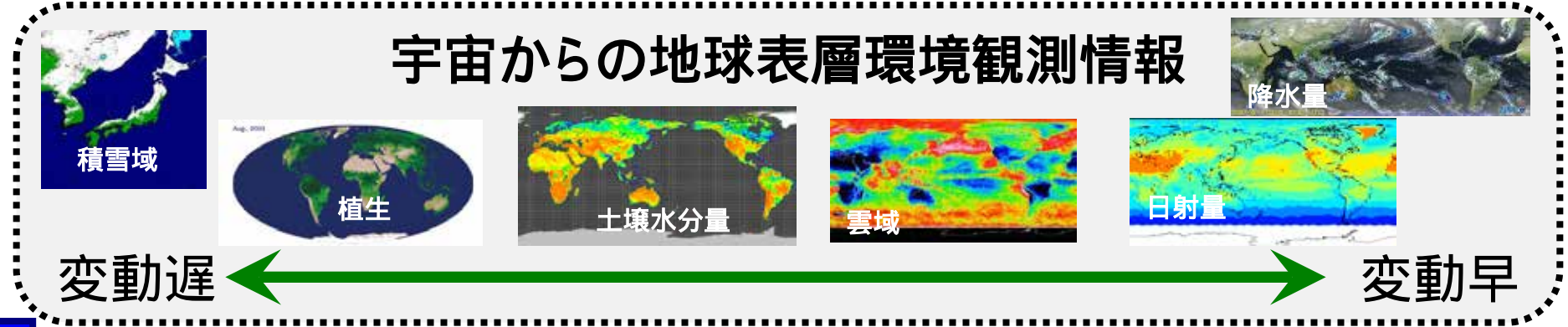
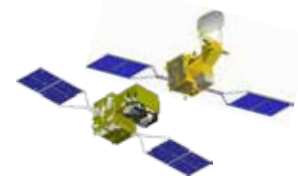


2012年9月15日～10月25日

静止気象衛星赤外画像と重ね合わせて表示

今後の宇宙からの地球環境観測・監視(例:水循環)

GCOM, GPMと
その先の将来衛星



- u 気候変動、水循環、再生可能エネルギー、保健衛生、農業・食料、生物多様性の監視と持続可能な管理に地球環境観測が不可欠
- u 広域・実時間の地球環境観測・監視は早期警戒情報を通じて災害被害軽減やエネルギー、水、食料の安全保障確保にも貢献。
- u 地球の環境容量、循環資源賦在量の将来推計、気候変動の進行探知、気候変動対策の立案および実施にも効果的。

宇宙からの水循環観測

- S リアルタイム・モニタリング・・・実時間のデータ取得。即時性が重要。
 - T 防災分野: 土砂災害・洪水・濁水の早期警戒情報
 - T 数値モデルの予測精度向上にも資する地球観測
- S 季節予測・・・準実時間でのデータ取得。即時性と広範囲からの取得のバランスが重要。
 - T 海面水温、土壌水分量や積雪面積や植生量など生態系の変化、農作物作付け情報など、衛星観測が得意とする地表面観測情報を有効利用する。
- S 長期トレンドの抽出・・・長期的広範囲のデータ集積。データの統合性が重要。
 - T 気候変動と絡めて科学的に重要



内閣府戦略室宇宙基本計画 工程表(情報収集関係)

2015

2020

2025

2030

2034

		2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度	2031年度	2032年度	2033年度	2034年度			
		27年度	28年度	29年度	30年度	31年度	32年度	33年度	34年度	35年度	36年度	37年度	38年度	39年度	40年度	41年度	42年度	43年度	44年度	45年度	46年度			
情報収集衛星 光学	光学4号機(2011年度打ち上げ)																							
	光学5号機(2014年度打ち上げ)																							
	光学6号機																							
	光学7号機(光学5号機の後継機)																							
	光学8号機(光学6号機の後継機)																							
	光学9号機(光学7号機の後継機)																							
	光学10号機(光学8号機の後継機)																							
	光学11号機(光学9号機の後継機)																							
	光学12号機(光学10号機の後継機)																							
	光学13号機(光学11号機の後継機)																							
	●継続的に開発・運用等																							
	情報収集 情報収集衛星 レーダ	レーダ3号機(2011年度打ち上げ)																						
		レーダ4号機(2012年度打ち上げ)																						
レーダ予備機(2014年度打ち上げ)																								
レーダ5号機																								
レーダ6号機																								
レーダ7号機(レーダ5号機の後継機)																								
レーダ8号機(レーダ6号機の後継機)																								
レーダ9号機(レーダ7号機の後継機)																								
レーダ10号機(レーダ8号機の後継機)																								
レーダ11号機(レーダ9号機の後継機)																								
レーダ12号機(レーダ10号機の後継機)																								
●継続的に開発・運用等																								

情報収集衛星光学

情報収集衛星レーダ



内閣府戦略室宇宙基本計画工程表(だいち/ひまわり/いぶき)

		2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度	2031年度	2032年度	2033年度	2034年度		
		27年度	28年度	29年度	30年度	31年度	32年度	33年度	34年度	35年度	36年度	37年度	38年度	39年度	40年度	41年度	42年度	43年度	44年度	45年度	46年度		
陸域 海域 陸域・海域観測	先進光学衛星					先進光学衛星							先進光学衛星後継機①										
																				先進光学衛星後継機②			
																				●継続的に開発・運用等			
	先進レーダ衛星	陸域観測技術衛星(だいち2号 2014年度打ち上げ)						先進レーダ衛星(だいち2号後継機)							先進レーダ衛星後継機①								
																				先進レーダ衛星後継機②			
																				●継続的に開発・運用等			
気象 気象観測	静止気象衛星	ひまわり6号(待機運用)		ひまわり7号(待機運用)		ひまわり8号(2014年度打ち上げ)						以後、待機運用						ひまわり					
		ひまわり9号(待機運用)				以後、ひまわり8号に替えて観測運用										待機							
		静止気象衛星後継機 製造・打ち上げ・待機														以後、ひまわり9号に替えて観測運用							
																●継続的に製造・運用等							
温室効果ガス 温室効果ガス観測	温室効果ガス観測技術衛星	いぶき 温室効果ガス観測技術衛星2号機						温室効果ガス観測技術衛星3号機						●継続的に開発・運用等									
																●継続的に開発・運用等							
その他のリモートセンシング及びセンサ等技術の高度化	水循環	水循環変動観測衛星(しずく 2012年度打ち上げ)																					
	雲・植生	気候変動観測衛星(GCOM-C)																					
	降水	全球降水観測計画/二周波降水レーダ(GPM/DPR 2013年度打ち上げ)																					
	雲・エアロゾル	雲エアロゾル放射ミッション/雲プロファイリングレーダ(Earth CARE/CPR)																					
	超低高度衛星	超低高度衛星技術試験機(SLATS)																					
	低コスト小型衛星	アスナロ1号(2014年度打ち上げ)						アスナロ2号						♀ その他???									
	センサ技術	ハイパースペクトルセンサ																					

年度	平成 27年度 (2015年度)	平成 28年度 (2016年度)	平成 29年度 (2017年度)	平成 30年度 (2018年度)	平成 31年度 (2019年度)	平成 32年度 (2020年度)	平成 33年度 (2021年度)	平成 34年度 (2022年度)	平成 35年度 (2023年度)	平成 36年度 (2024年度)	平成 37年度 以降
その他リモートセンシング衛星開発・センサ技術高度化(1/2)	その他リモートセンシング衛星の開発、センサ技術の高度化等の検討 [総務省、外務省、文部科学省、経済産業省、国土交通省、環境省]										
	水循環変動観測衛星(GCOM-W) [文部科学省]										
	運用										
	気候変動観測衛星(GCOM-C) [文部科学省]										
	開発			運用							
	打ち上げ▲										
	全球降水観測計画/二周波降水レーダ(GPM/DPR) [総務省、文部科学省]										
運用											
雲プロファイリングレーダ(CPR) [総務省、文部科学省]											
開発		雲エアロゾル放射ミッション(EarthCARE) [ESAが打ち上げ担当のプロジェクト]									
ESA引渡し▲		▲打ち上げ									
超低高度衛星技術試験機(SLATS) [文部科学省]											
開発			運用								
打ち上げ▲											

その他の明日は??

2020(平成32)年度以降地球観測衛星計画が空白

※後期運用は衛星等が運用可能な限り継続

おわりに

S 衛星観測計画同士の連携が重要

T 世界各国との競争と協調も大事

T 分野間連携も(測位、災害、通信...)

S 数値シミュレーション、地上観測データなどとの統合、融合が必要

S 長期モニタリングに価値あり

T リアルタイムで役立てつつ徐々に蓄積

T 想定どおりの運用からも想定外の成果が期待できる

T 設計寿命を越えるのは喜ばしいが継続担保が肝要