

複数の再解析データによる気候値の空間 分布再現性とWCRP-CMIP3マルチ気候モ デルにみる気候変動予測の不確実性

京都大学防災研究所

辰己賢一・山敷庸亮・寶馨

既往の研究

- ERA-40は、モデルによる診断的な降水量がパラメタライズされた微物理過程によって生成。降水量は強くモデルに依存 (Kallberg, 2003)
- NCEP-Iは、夏の陸域における降水・蒸発の過大評価 (Roads et al. 2003, Trenberth et al. 1998)
- 海域におけるGPCPはCMAPよりも再現性が高い (Yin et al. 2004)
- ERA-40はNCEP-I, GPCP降水量と比較し、地域スケールで相当な差がある (Janowiak et al. 1998)
- ERA-40は、熱帯地域においてGPCPに比べて降水を過大評価する傾向があり、島の地点の代表性に欠けている (Troccoli et al. 2004, Fernandes, 2008)
- JRA-25は、ERA-40, NCEP-IIとの全球の面積加重した空間相関について世界一の精度を示す。一方、アマゾン域の降水量は過小評価 (小出, 2006)

目的

各種データセットの再現性の評価は数多く実施されている。しかし、全球規模での複数のデータセットに対して、大陸上の地上観測点を基準とした再現性の評価や誤差の解析については十分に行われていない。



全球の地上観測点の気候値と各種グリッドデータの比較を行い、結果を分析することを目的とする

対象データ

- ECMWF 40+ Year Reanalysis (ERA-40)
- CMPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP)
- The Global Precipitation Climatology Project (GPCP)
- Japanese 25-year Reanalysis (JRA-25)
- Climate Research Unit Global 0.5° Monthly Time Series, Version 2.1 (CRUTS 2.1)
- Phase 3 of the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP3) 24モデル
- National Climatic Data Center (NNDC)

1979-2000年の欠測がないデータ

全608点（北アメリカ125, アジア108, 南アメリカ, ヨーロッパ（ロシアを含む）133, アフリカ75点, 中東18点, 中央アメリカ1, オセアニア・太平洋諸島83, カリブ3点） 22年 × 12月 × 608 = 16万データ

評價指標

$PD = \text{estimated} - \text{observed}$

$PPD = (\text{estimated} - \text{observed}) / \text{observed} \times 100\%$

$$SDB = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (\Phi'_i - \bar{\Phi}')^2} \quad \bar{\Phi}' = (1/n) \sum_{i=1}^n \Phi'_i$$

$$MMB = (1/n) \sum_{i=1}^n |\Phi'_i|$$

$$RMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{12} \sum_{n=1}^{12} (V(i, m, n) - V_0(i, n))^2}}{\sigma_0(i)}$$

$SD - PD$
 $SD - PPD$
 $MM - PD$
 $MM - PPD$
 $RMSE$
 R

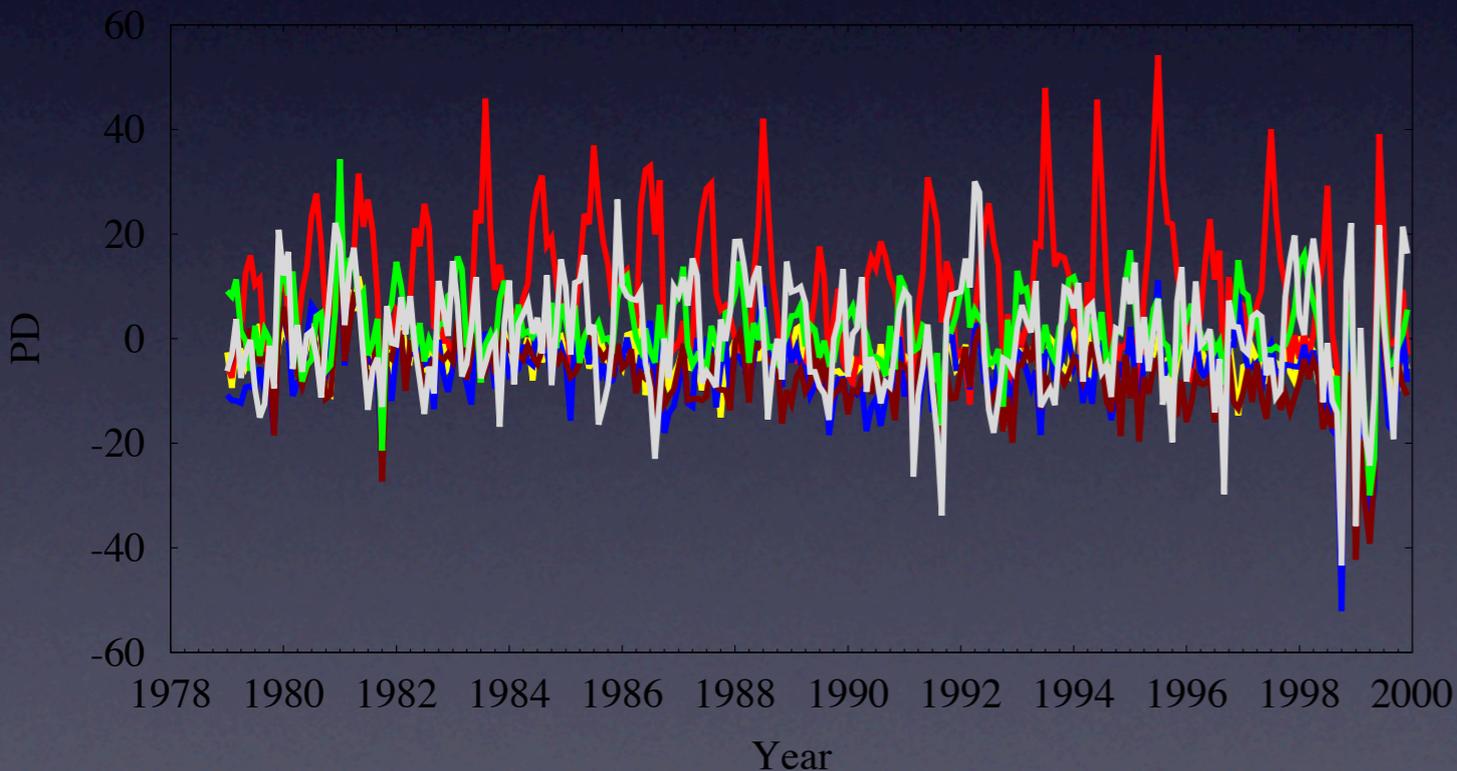
北アメリカ

特に夏期に過大評価 PPD
 6月25.8%, 7月29.6%, 8月22.5%

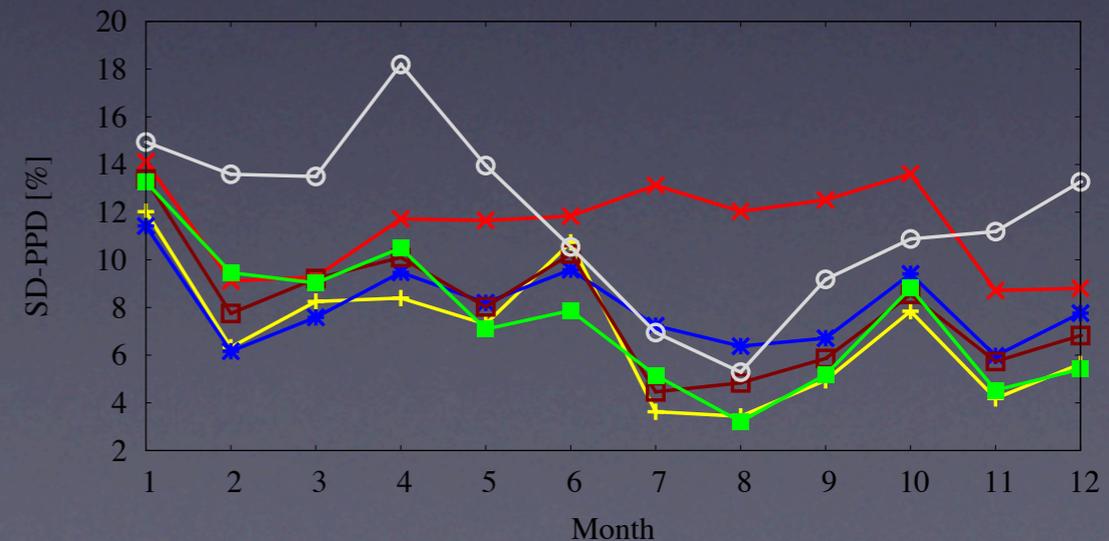
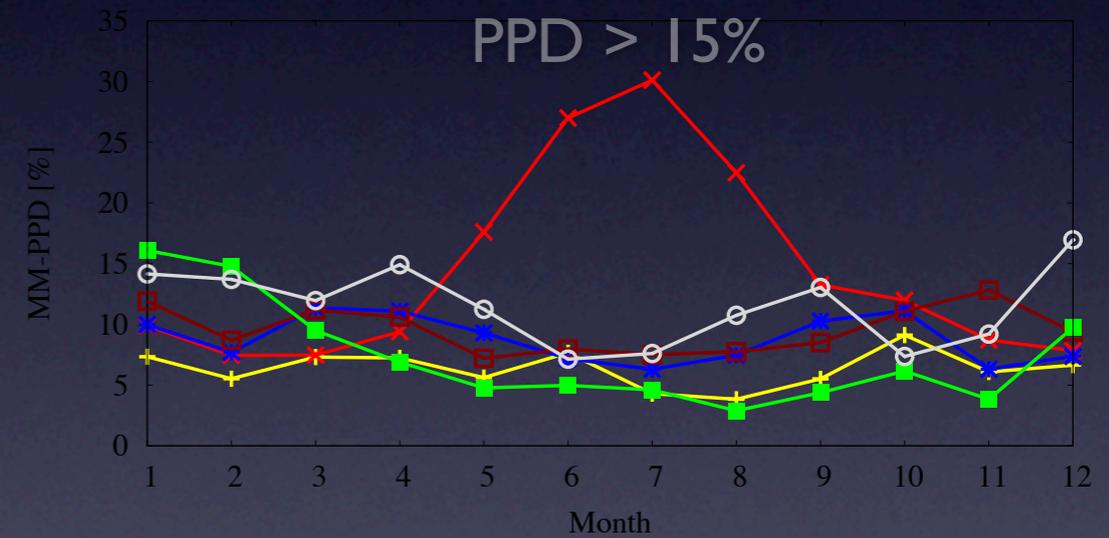
CRUTS2.1, ERA-40, CMAP < NNDC < JRA-25, GPCP, CMIP3
 CMAP, ERA-40は年間をとおして降水量を過小評価 (-8.5%, -8.8%)

PPDの最小値 4月~11月: GPCP, 12月~3月: CRUTS2.1

5月 - 8月



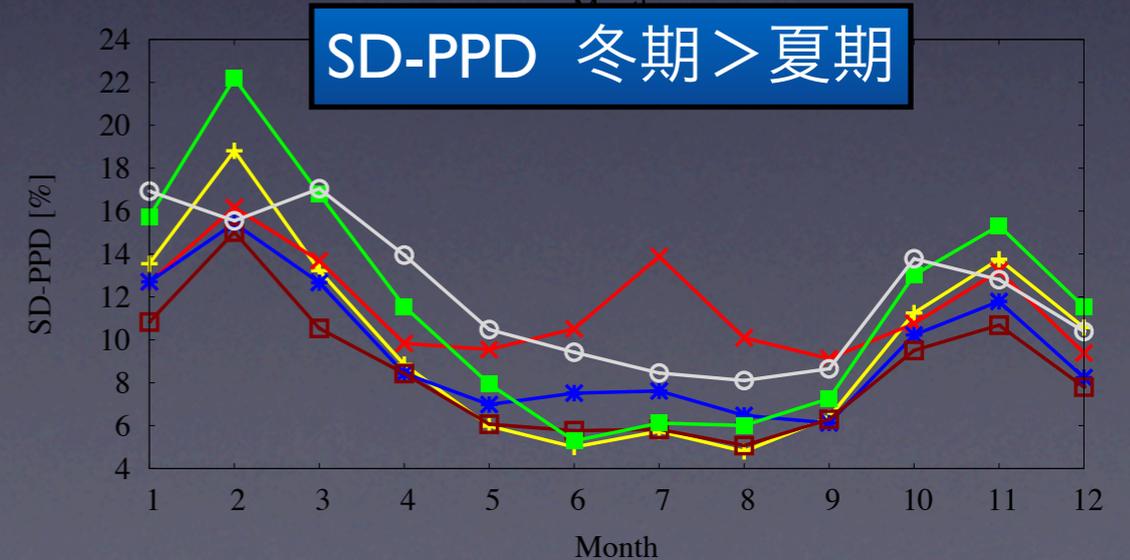
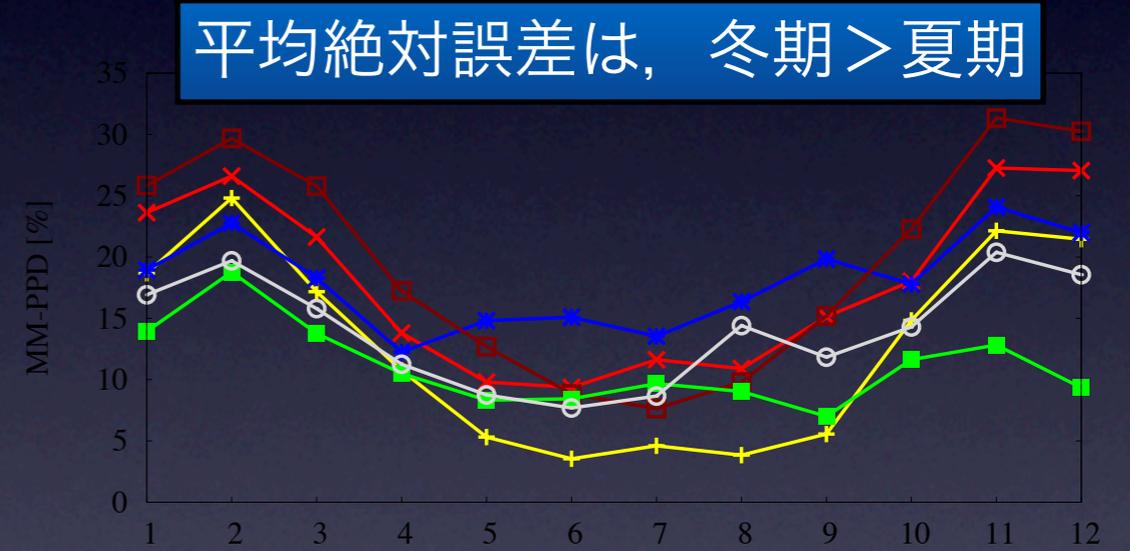
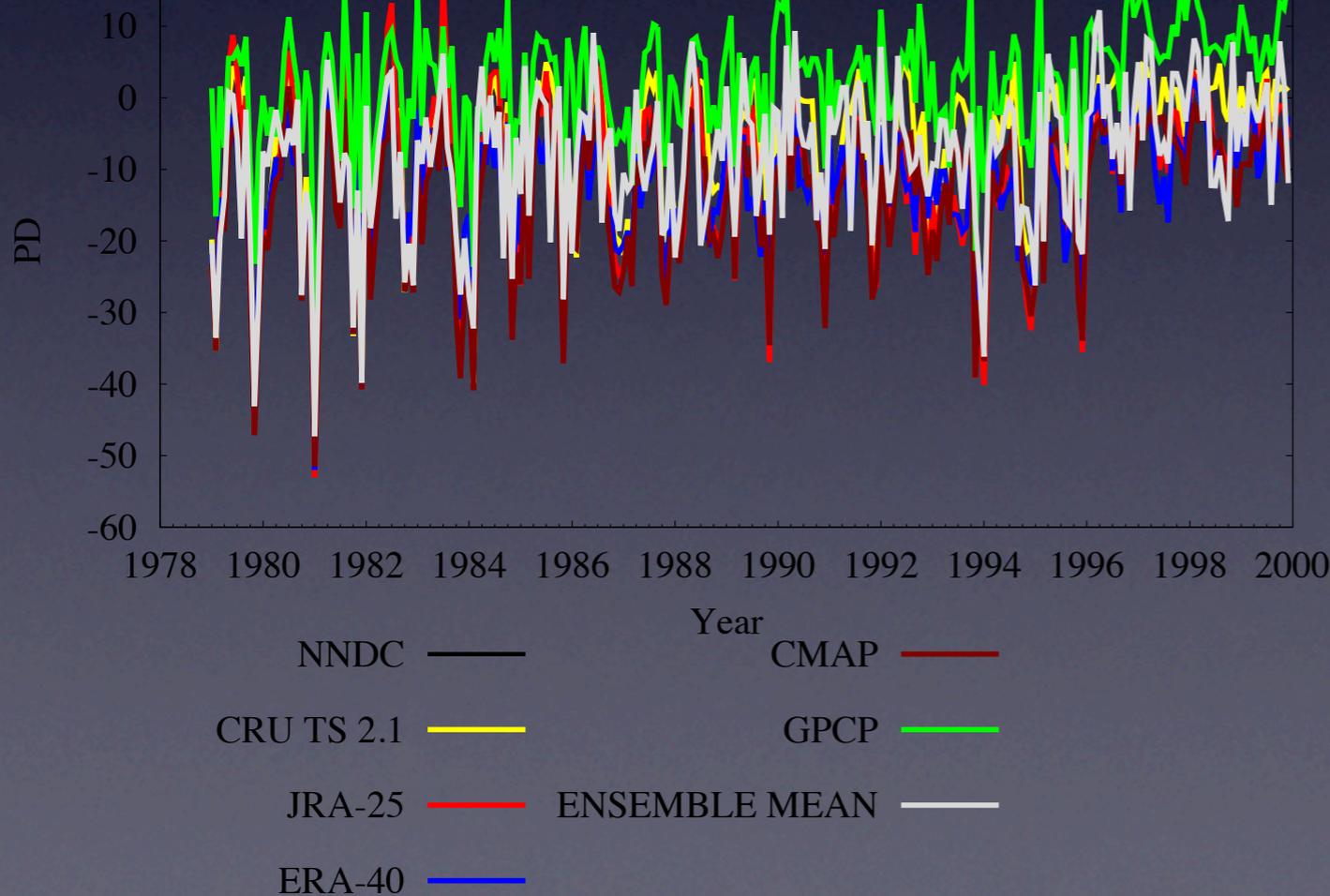
NNDC ——— CMAP ———
 CRU TS 2.1 ——— GPCP ———
 JRA-25 ——— ENSEMBLE MEAN ———
 ERA-40 ———



ヨーロッパ

GPCP(PPD 3.2%)以外は年降水量, 各月降水量とも過小評価. PD, PPDの平均絶対誤差は冬期が最も大きく, 夏期にかけて小さくなる. PD, PPDの標準偏差も同様に冬期に比べて夏期に大きく, 再現性に課題があることがわかる.

1988年以降, パフォーマンスが向上 (JRA-25)
 1987年途中からSSM/I (機械走査型マイクロ波放射映像センサ) の可降水量リトリバルを同化することによる精度改善



カリブ

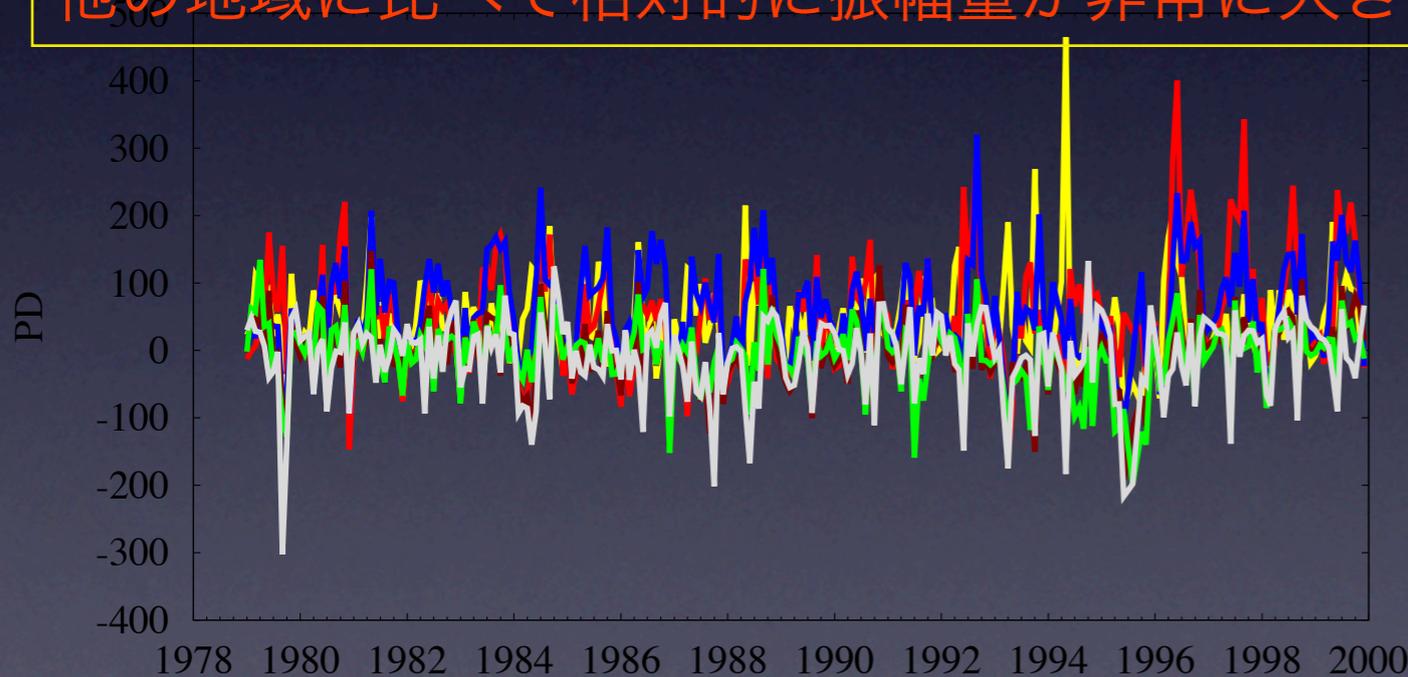
JRA-25, ERA-40は大
幅な過大評価

年降水量：NNDC (1162.2mm), CRUTS 2.1 (1638.7mm), JRA-25 (1774.7mm), ERA-40

(1908.0mm), CMAP(1114.7mm), GPCP (1129.6mm), CMIP3 (1053.0mm)

CMAP, GPCPのカリブ熱帯域での年・月降水量の再現性はCRUTS2.1や再解析値を大きく上
回っており，衛星観測と地上観測を組み合わせた格子点データの有効性が確認できる領域

他の地域に比べて相対的に振幅量が非常に大きい



Year

NNDC ———

CRU TS 2.1 ———

JRA-25 ———

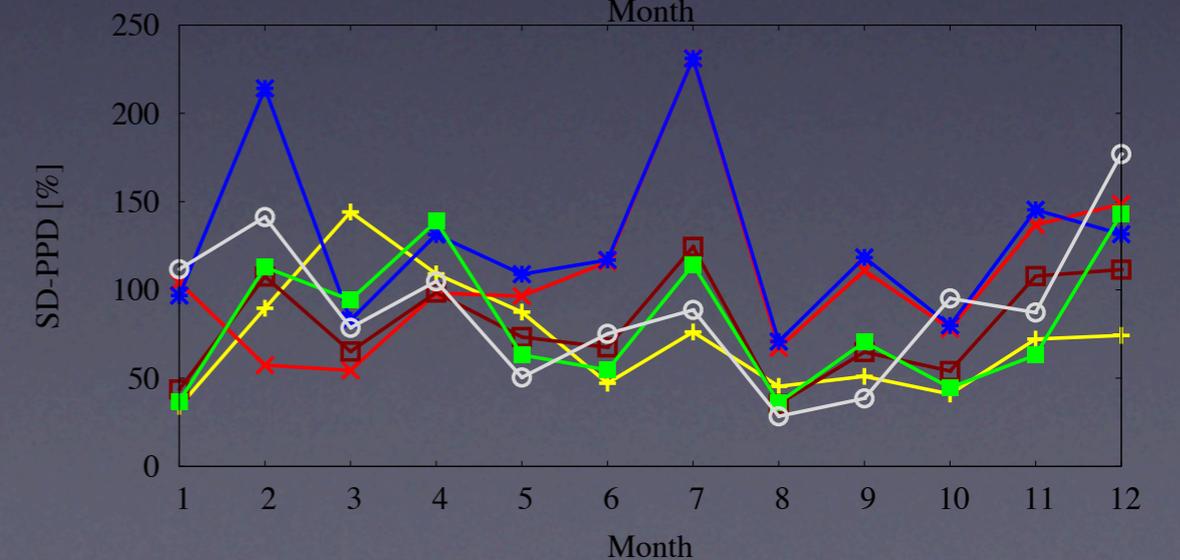
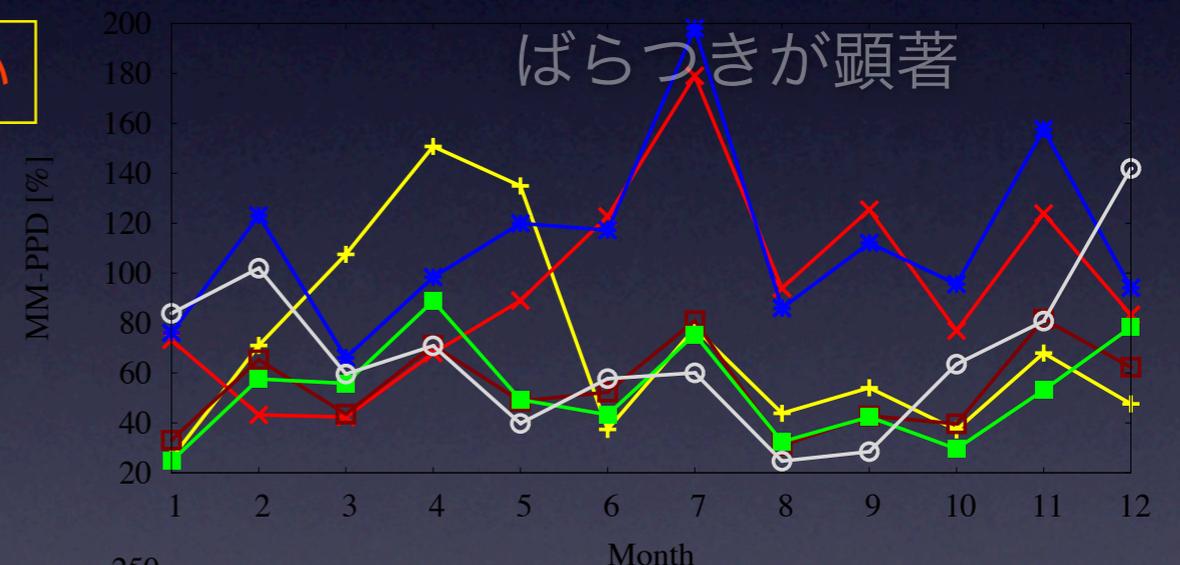
ERA-40 ———

CMAP ———

GPCP ———

ENSEMBLE MEAN ———

JRA-25, ERA-40の7月の誤差,



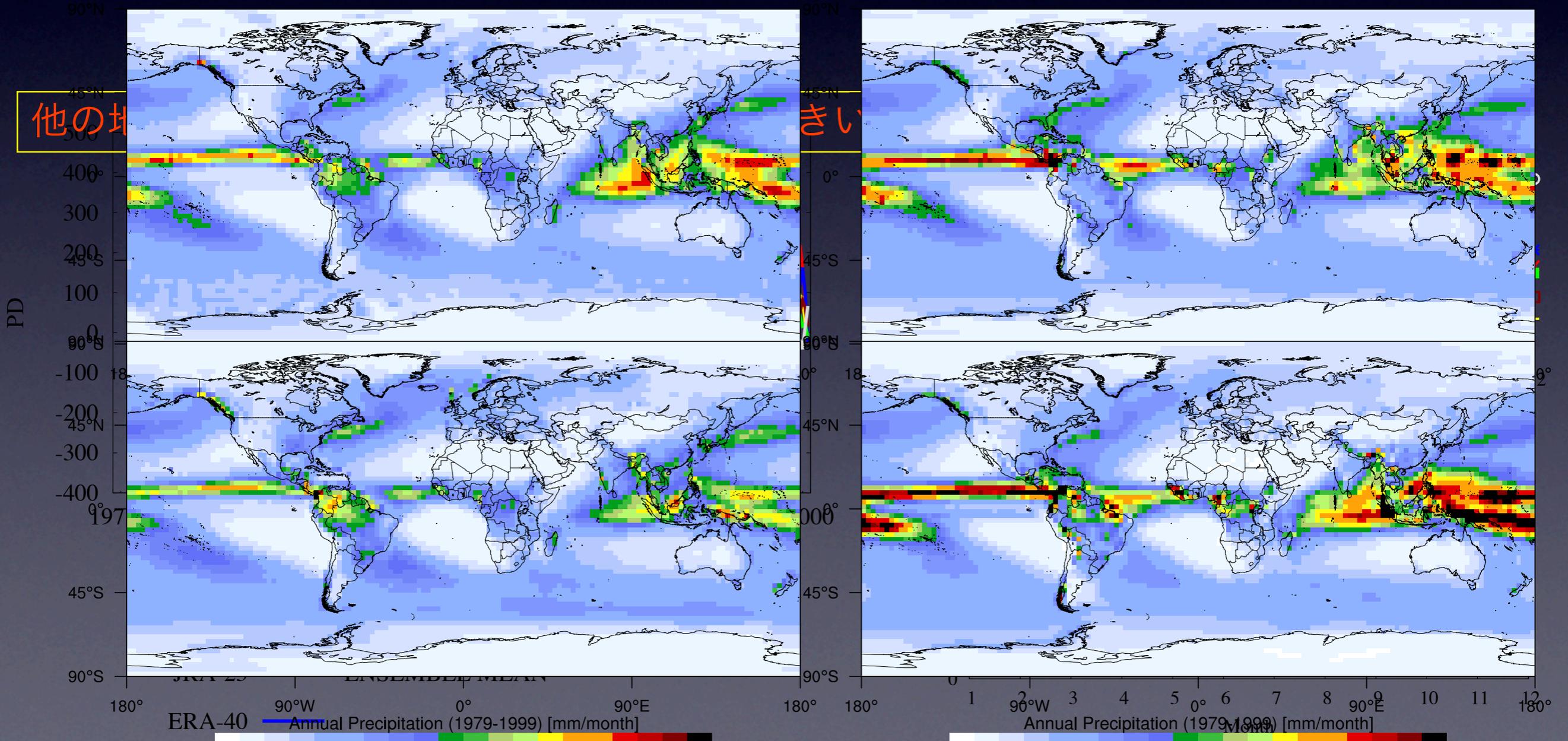
カリブ

JRA-25, ERA-40は大幅な過大評価

年降水量：NNDC (1162.2mm), CRUTS 2.1 (1638.7mm), JRA-25 (1774.7mm), ERA-40

(1908.0mm), CMAP(1114.7mm), GPCP (1129.6mm), CMIP3 (1053.0mm)

CMAP, GPCPのカリブ熱帯域での年・月降水量の再現性はCRUTS2.1や再解析値を大きく上回っており、衛星観測と地上観測を組み合わせた格子点データの有効性が確認できる領域



カリブ

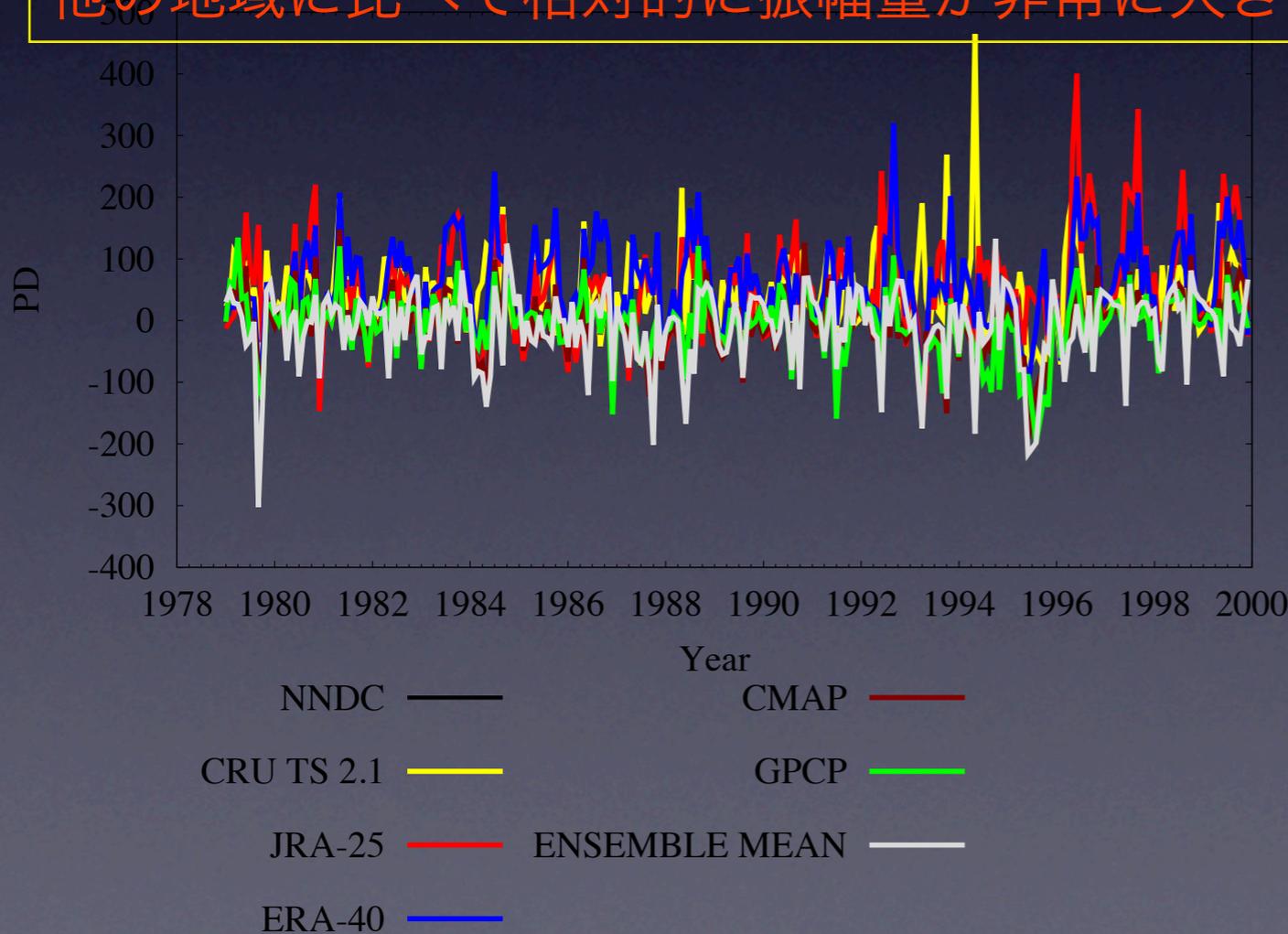
JRA-25, ERA-40は大幅な過大評価

年降水量：NNDC (1162.2mm), CRUTS 2.1 (1638.7mm), JRA-25 (1774.7mm), ERA-40

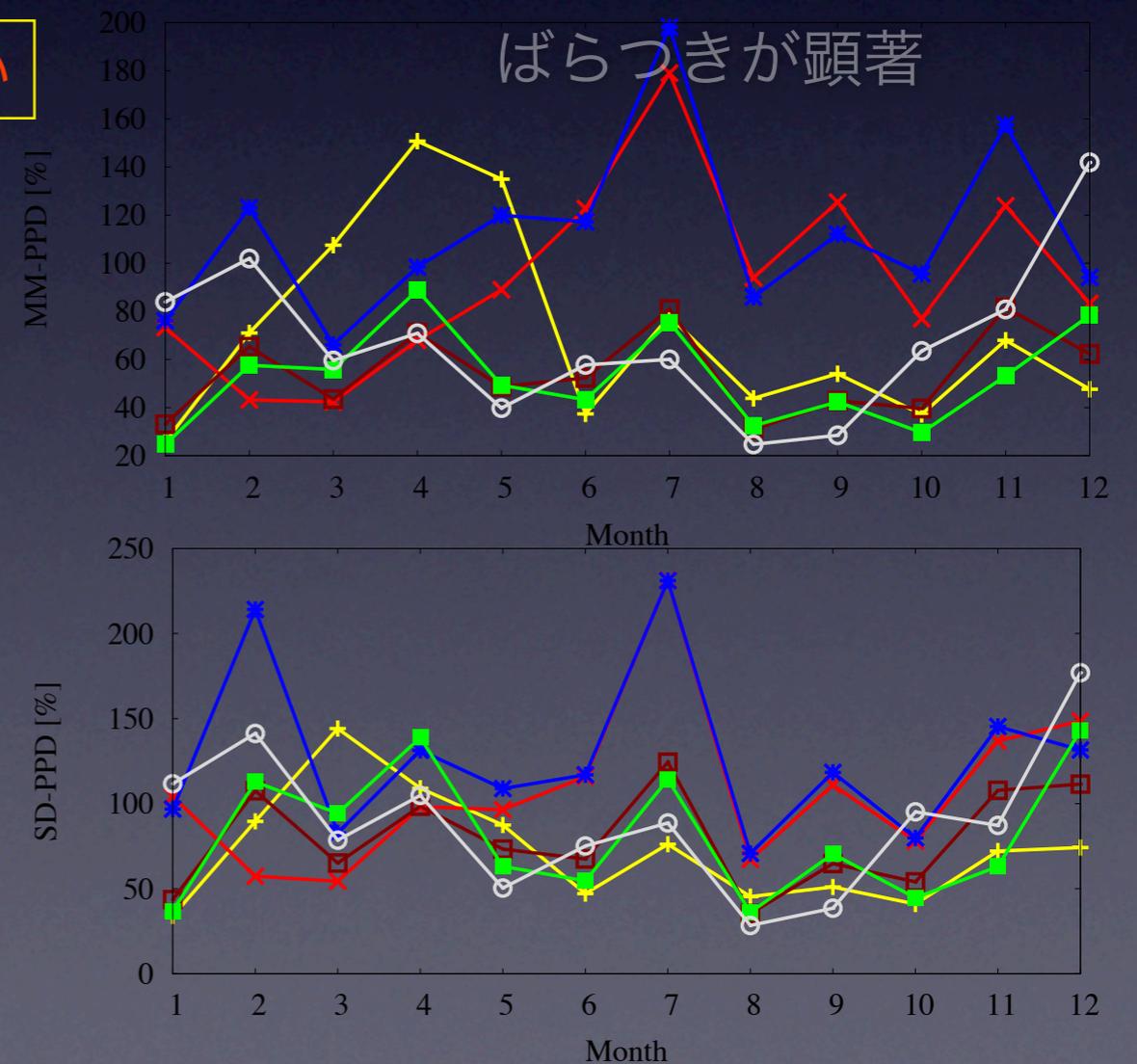
(1908.0mm), CMAP(1114.7mm), GPCP (1129.6mm), CMIP3 (1053.0mm)

CMAP, GPCPのカリブ熱帯域での年・月降水量の再現性はCRUTS2.1や再解析値を大きく上回っており，衛星観測と地上観測を組み合わせた格子点データの有効性が確認できる領域

他の地域に比べて相対的に振幅量が非常に大きい



JRA-25, ERA-40の7月の誤差,



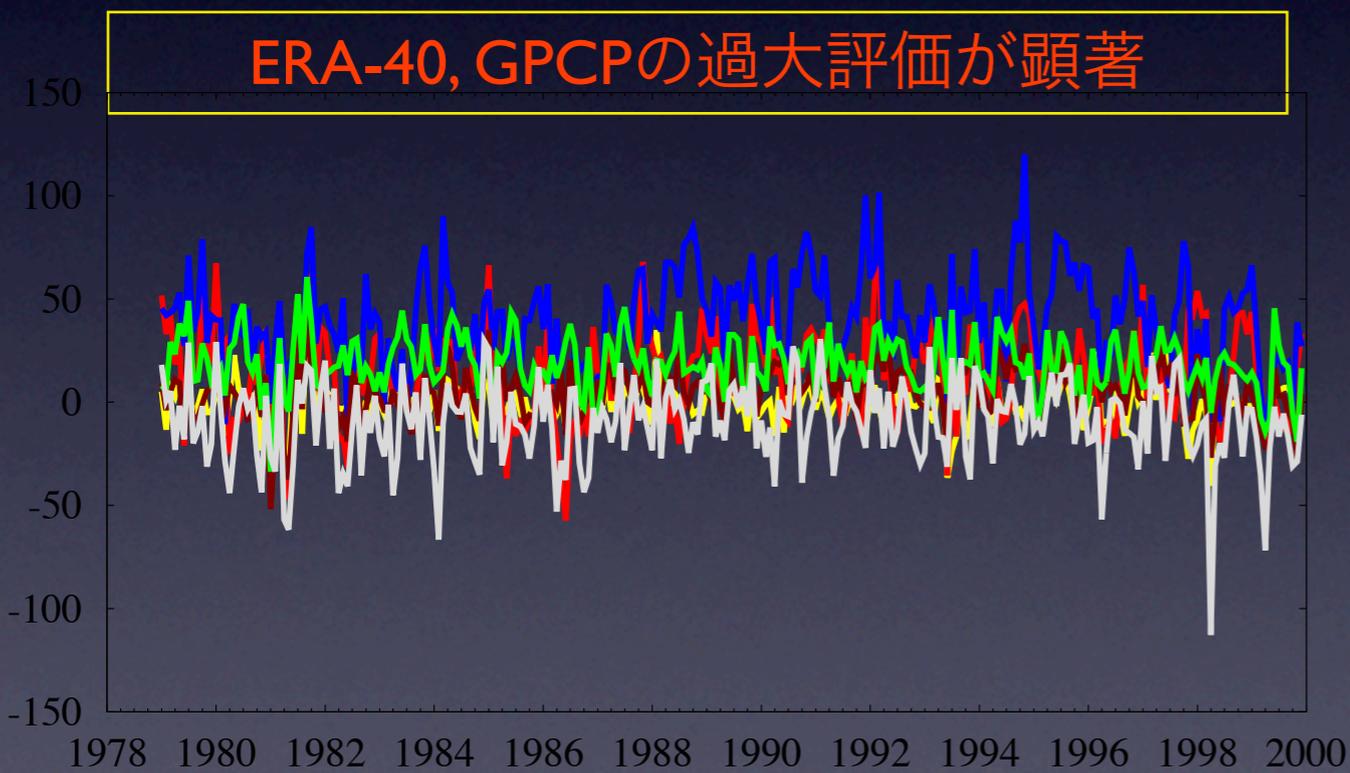
南アメリカ

PPD: -0.7% (CRU TS 2.1), 10.1% (JRA-25), 35.5% (ERA-40), 4.3% (CMAP), 18.8%(GPCP), -8.3%(CMIP3).
 GPCPは全月でPPDは正であり, 特に7月(40.1%)が顕著.

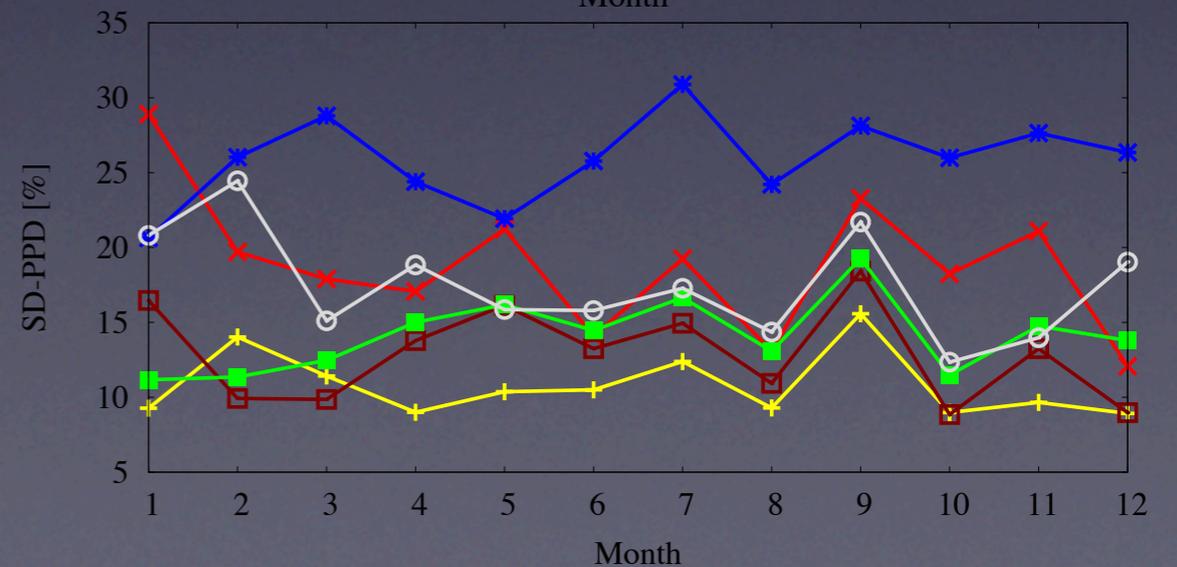
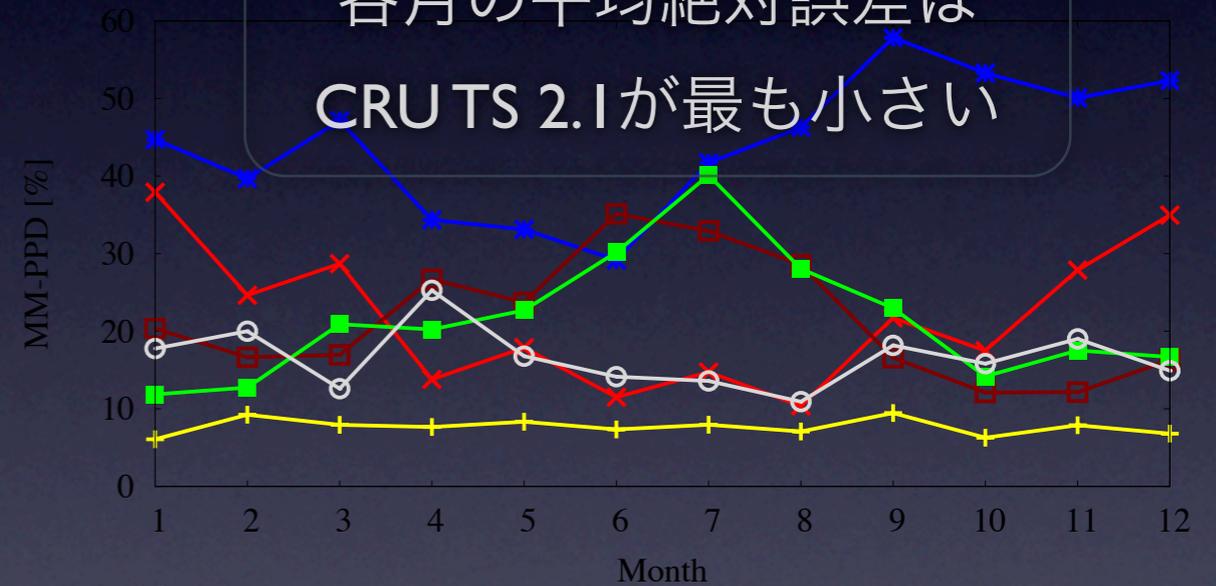
JRA: 4-7月過小評価 (PPD負), それ以外の月で過大評価 (PPD正)

各データ間のPDおよびPPDのばらつきが大きく, 降水量の再現が難しい地域であると言える.

ERA-40, GPCPの過大評価が顕著



各月の平均絶対誤差は
 CRU TS 2.1が最も小さい



オセアニア

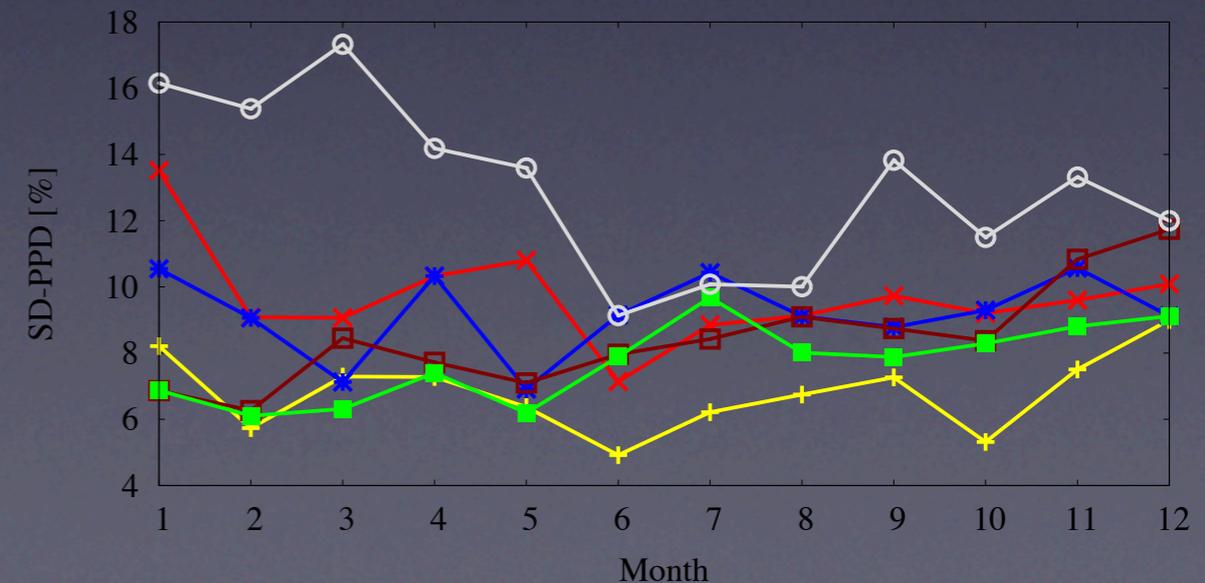
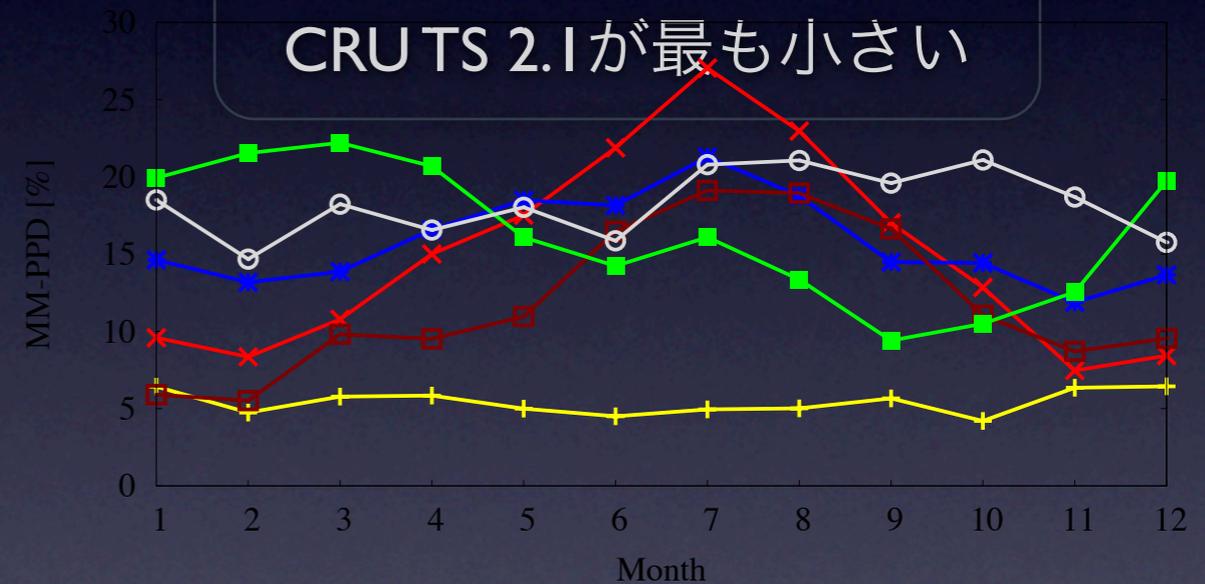
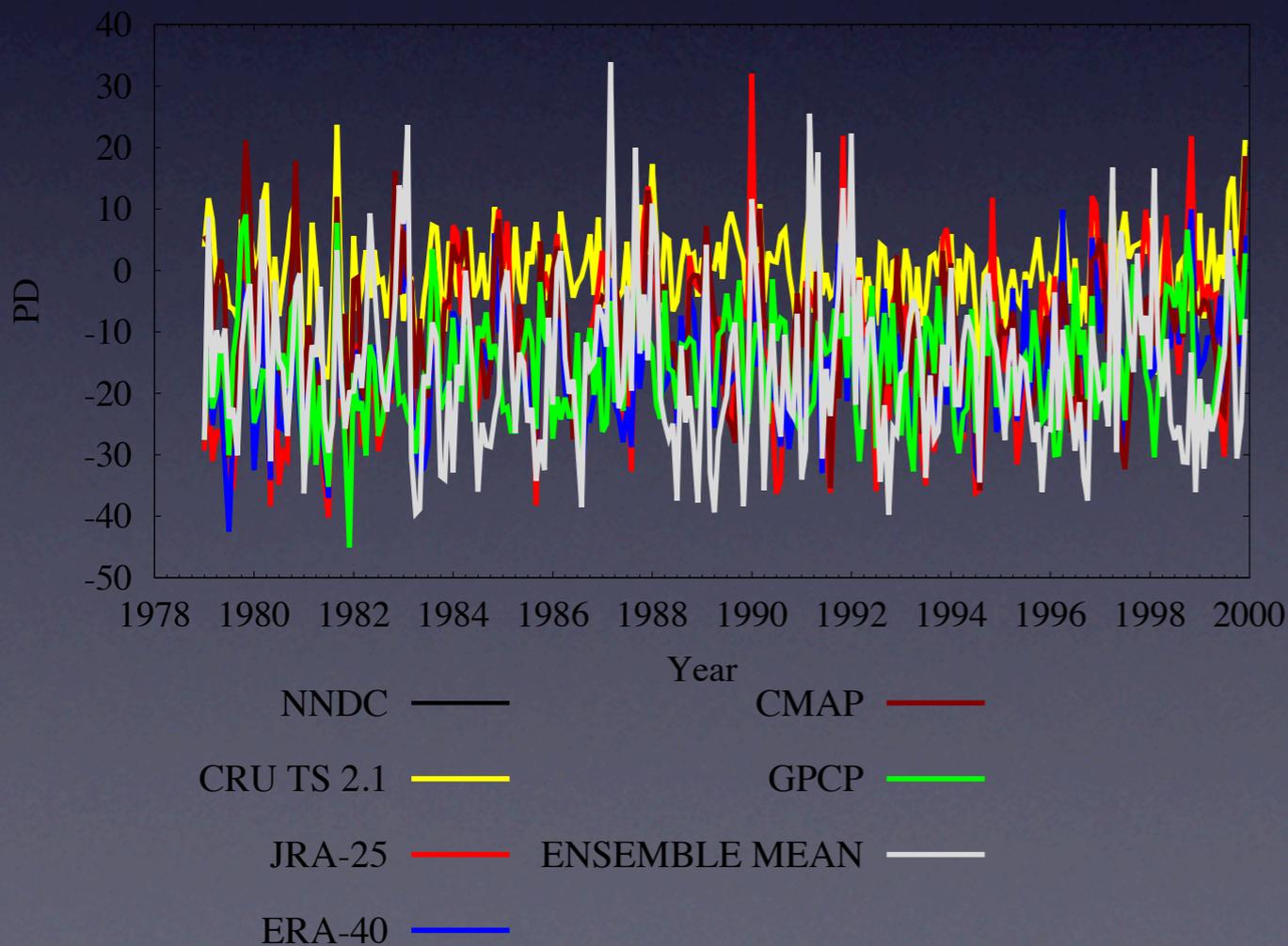
PPD: -0.5% (CRU TS 2.1), -12.6% (JRA-25), -18.1%(ERA-40), -9.4% (CMAP), -17.2%(GPCP), -13.5% (CMIP3). 全月でCRUにおけるPPDの絶対値は最も小さい.

JRA,-25 ERA-40, CMAP, CMIP :6-8月が相対的に大きく過小評価

各月の平均絶対誤差は

CRU TS 2.1が最も小さい

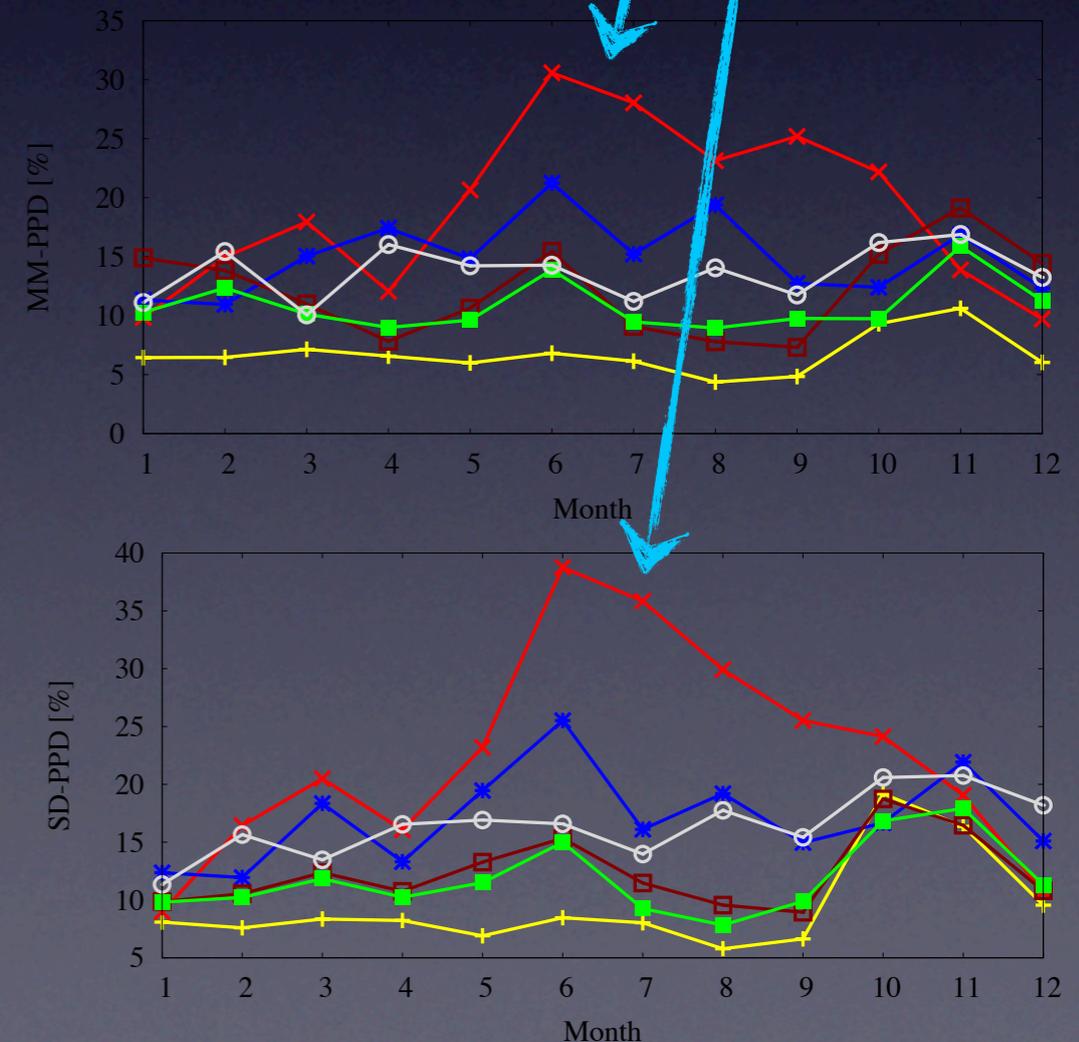
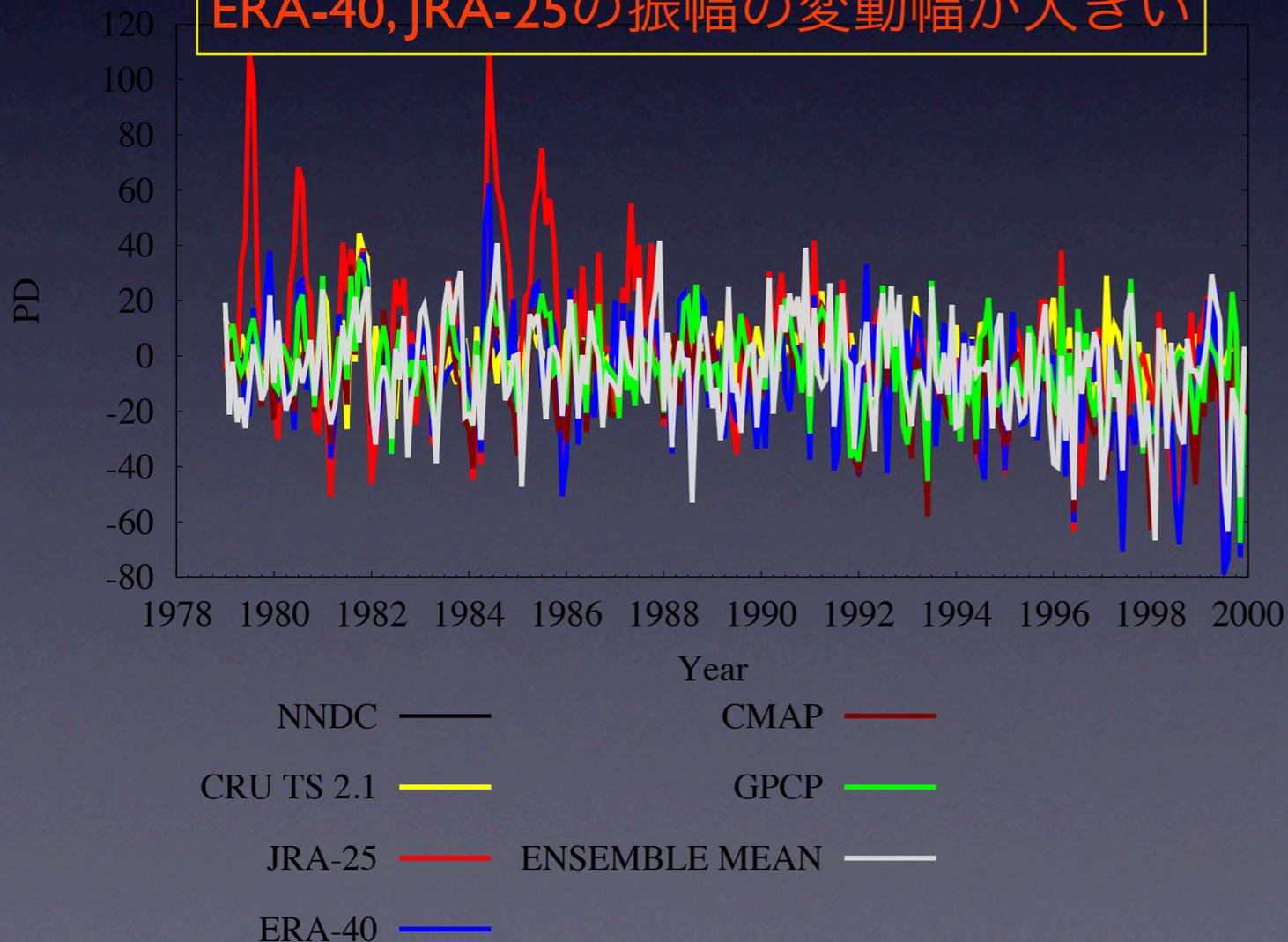
ERA-40, GPCPの過小評価が顕著



アフリカ

年降水量はCRUTS 2.1 (0.8%)を除き過小評価, 特にERA-40は各月でPPDは-10%以上の過小評価である. 平均絶対誤差で見ると, 5月~10月におけるJRA-25, ERA-40の誤差が大きく, 一方, PD, PPDの平均絶対誤差, 標準偏差の値はCRUTS 2.1が最も小さく, 再現性は安定しており良好であると言える.

ERA-40, JRA-25の振幅の変動幅が大きい



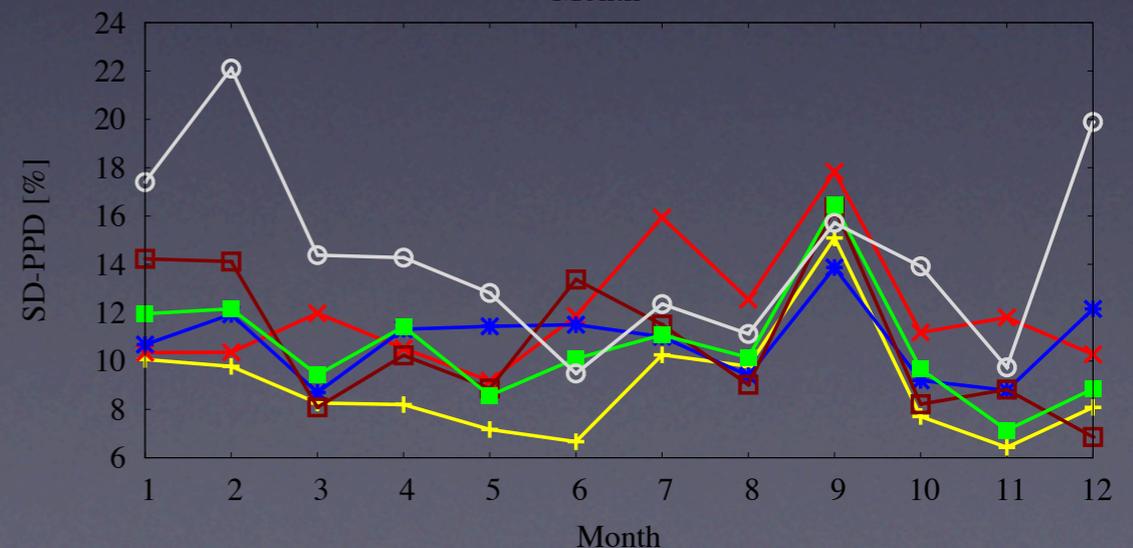
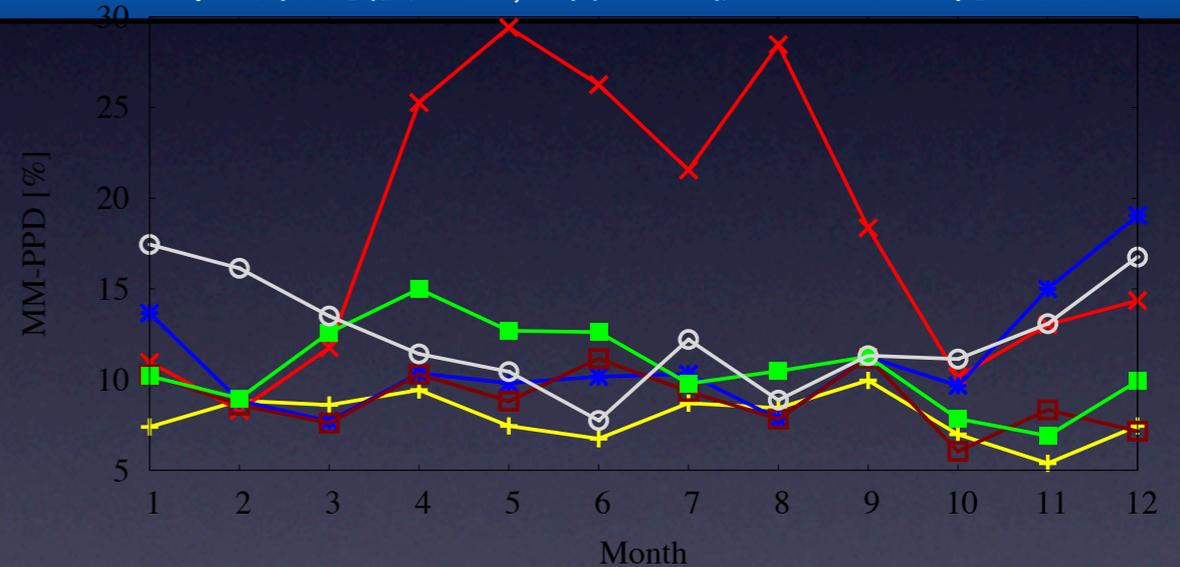
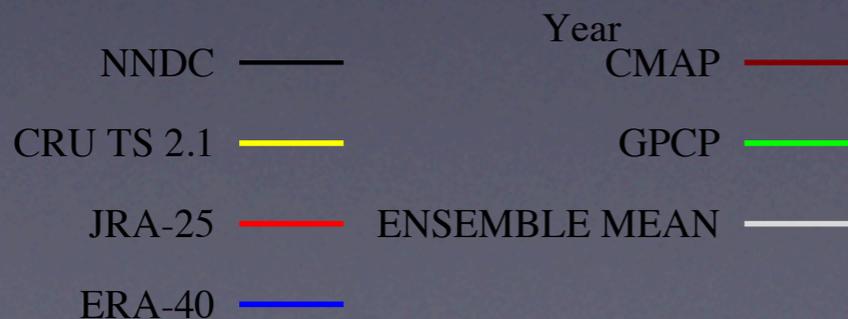
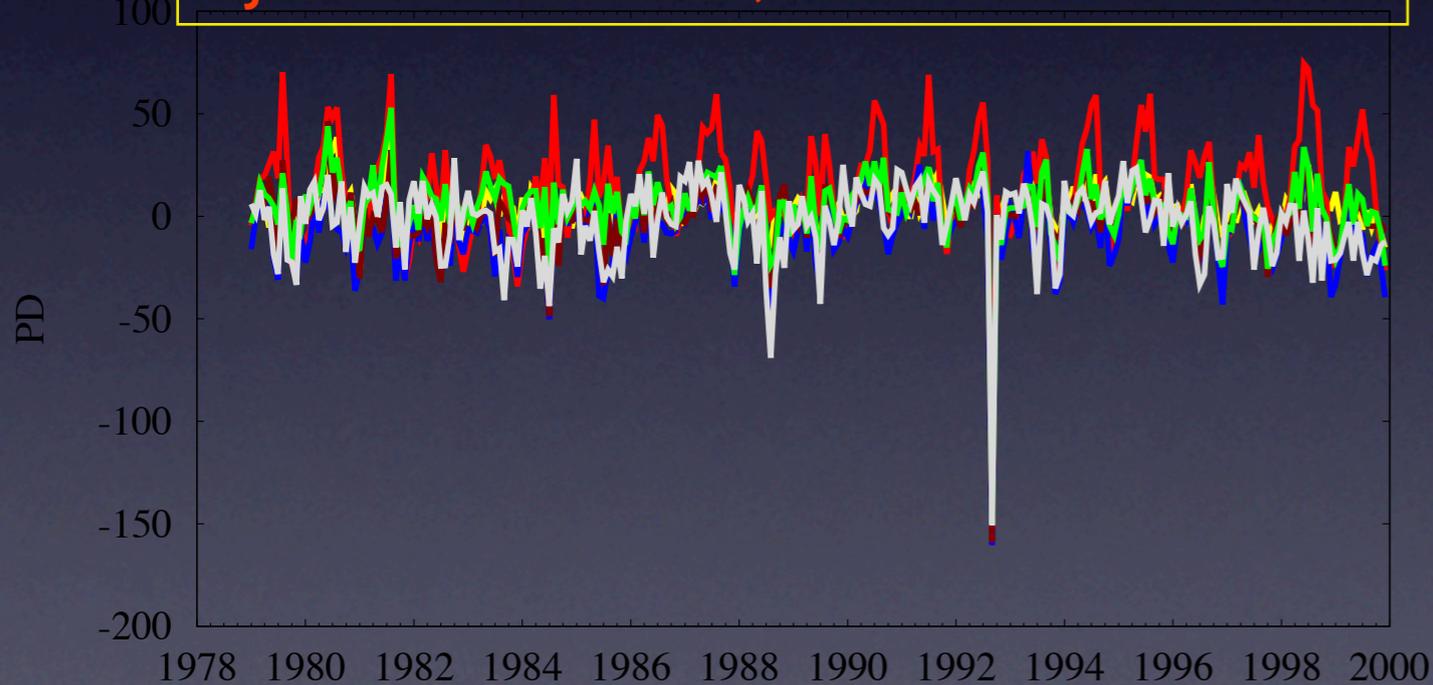
アジア

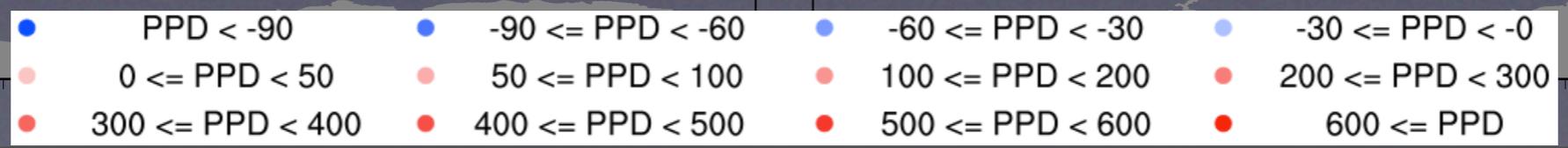
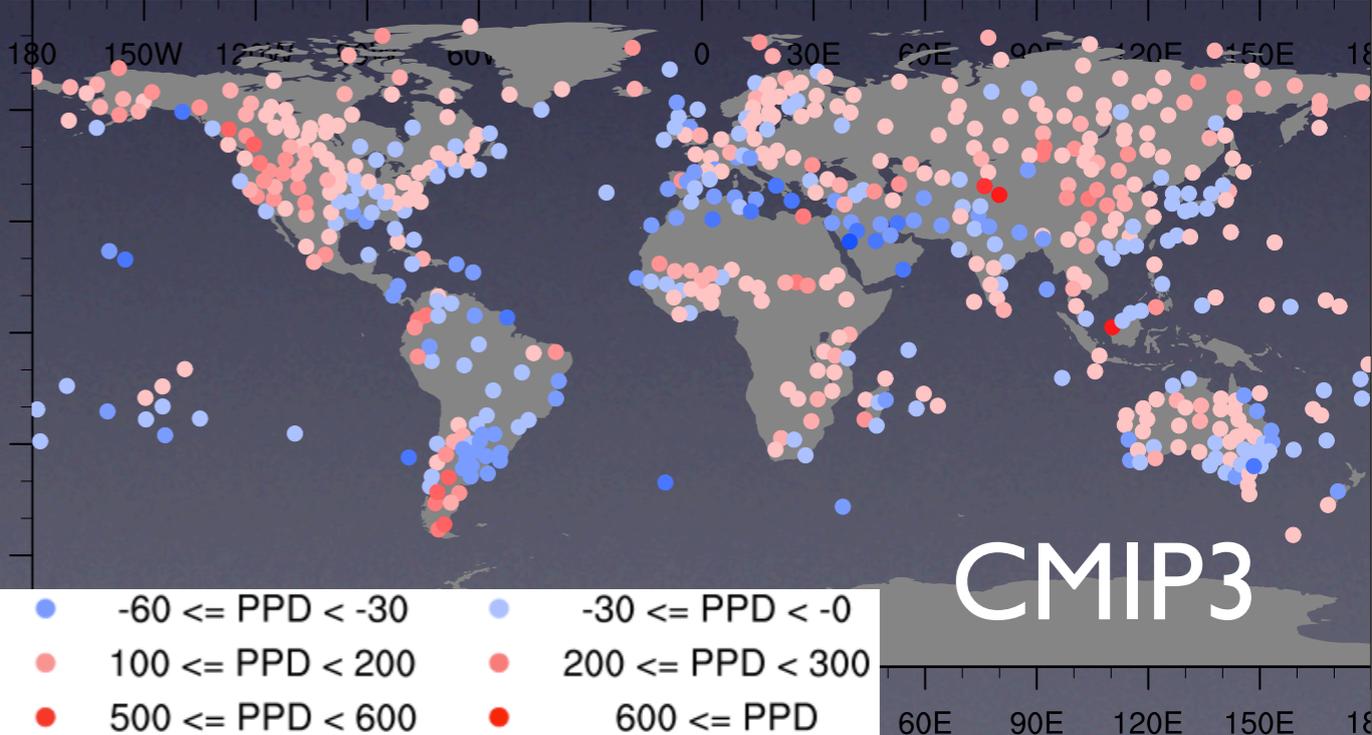
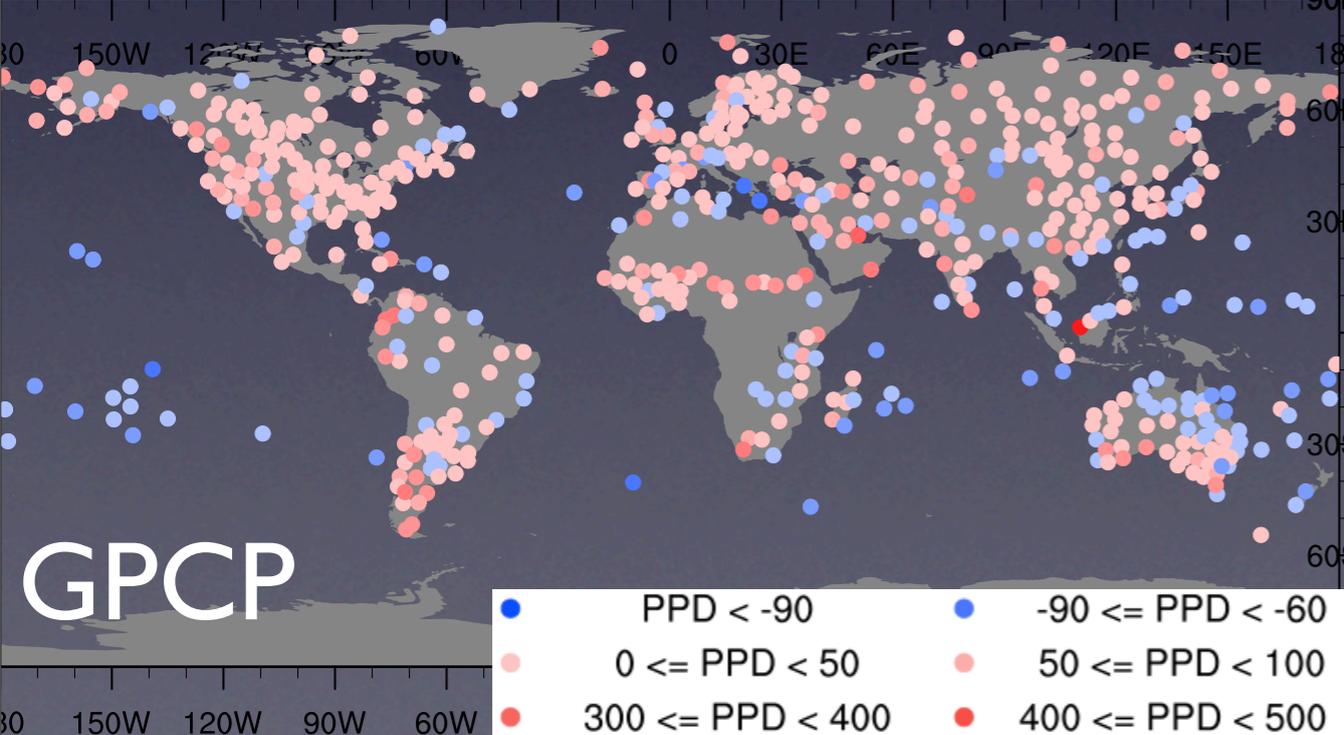
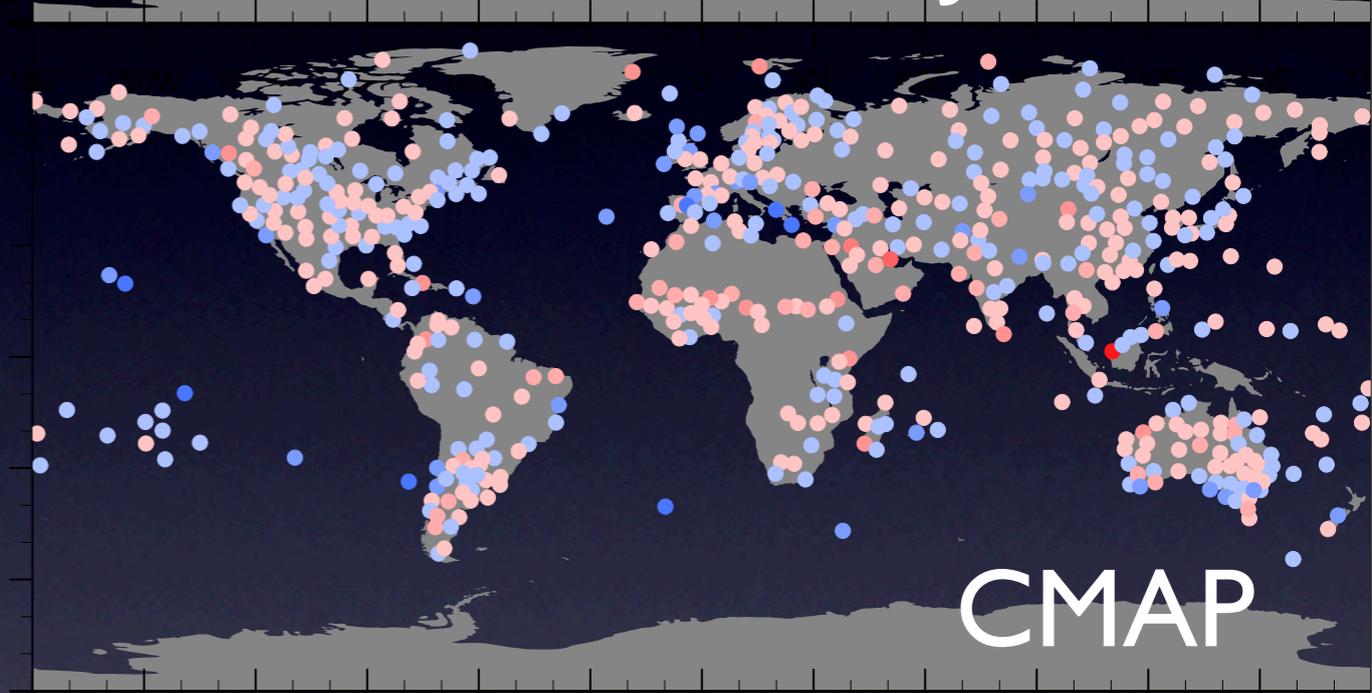
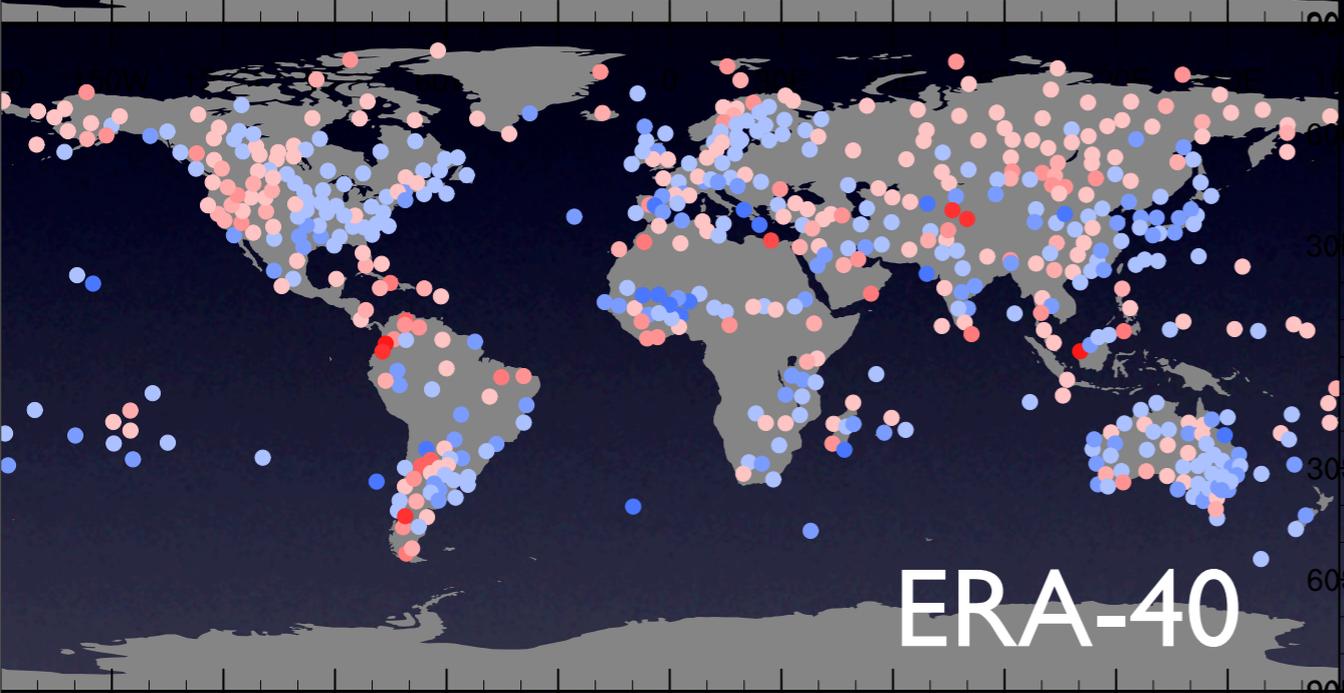
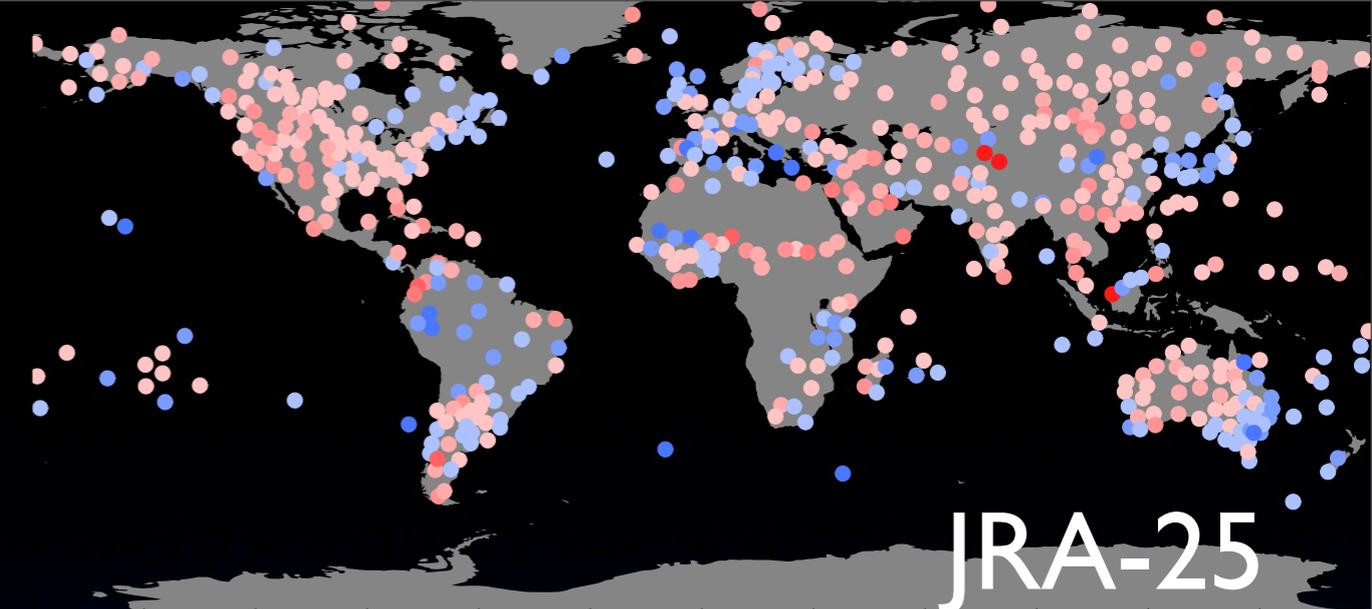
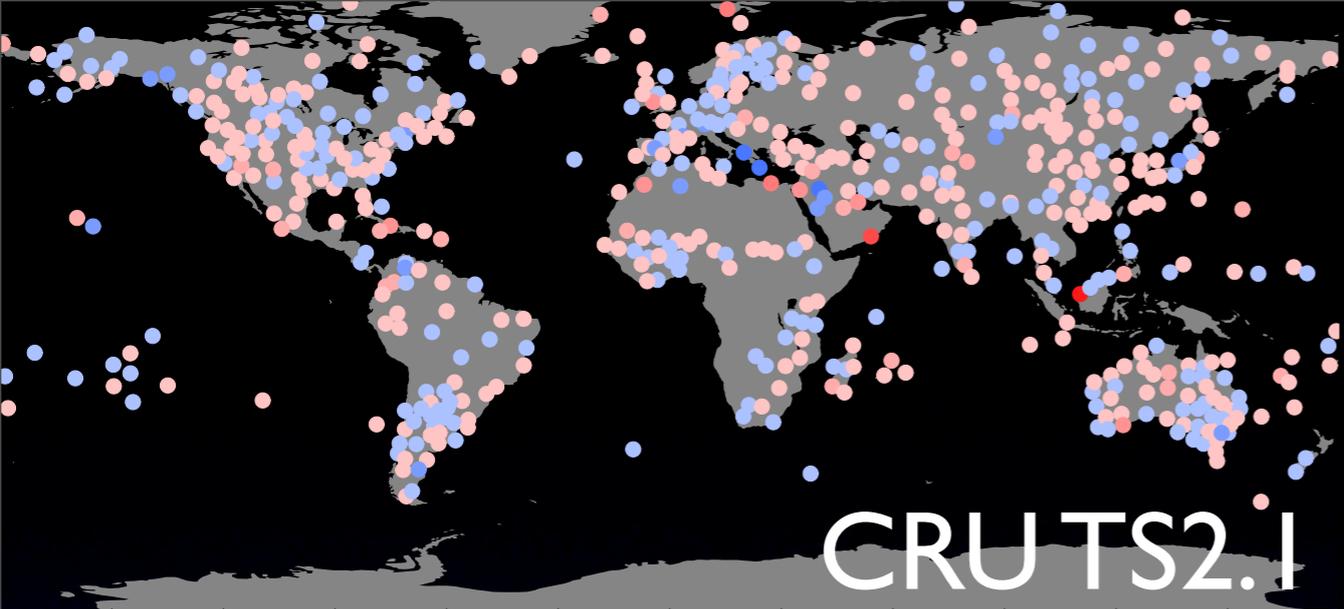
年降水量で見るとJRA-25が最も過大評価(11.3%)。 ERA-40が最も過小評価(-8.8%)。

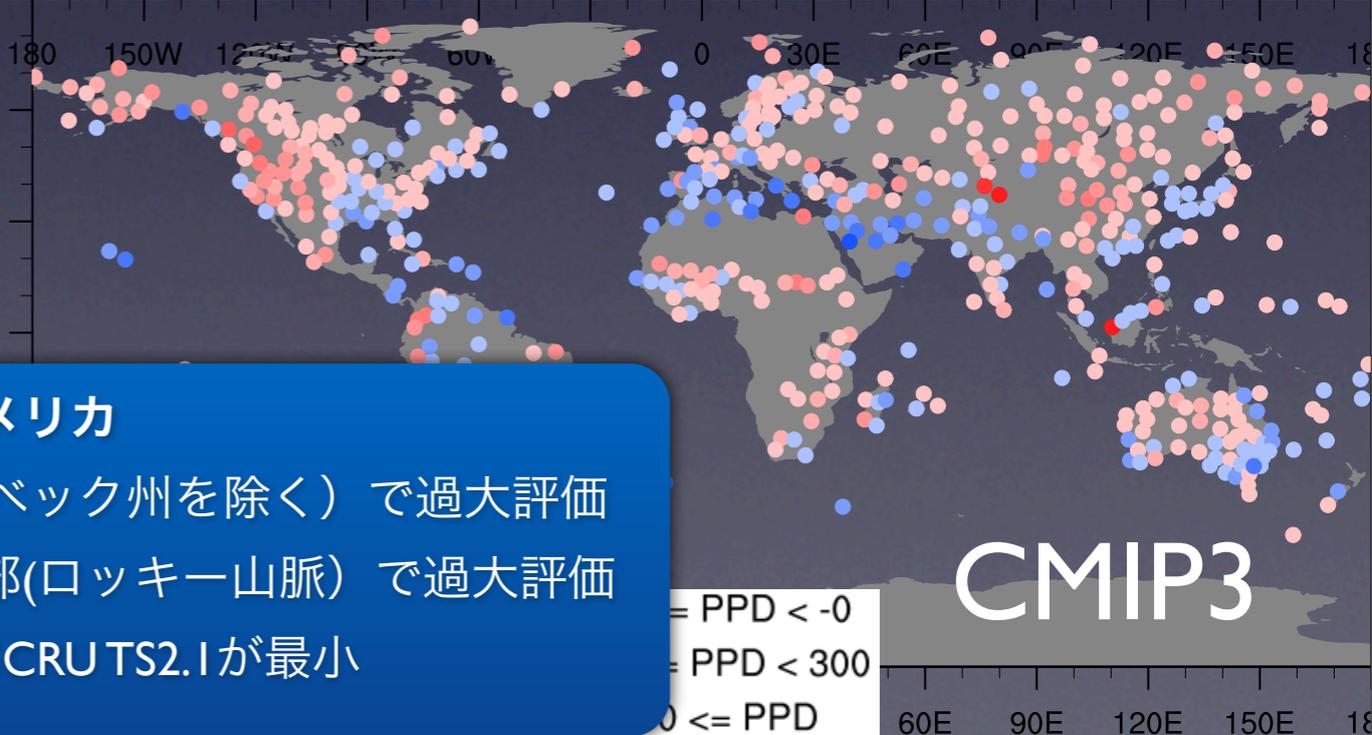
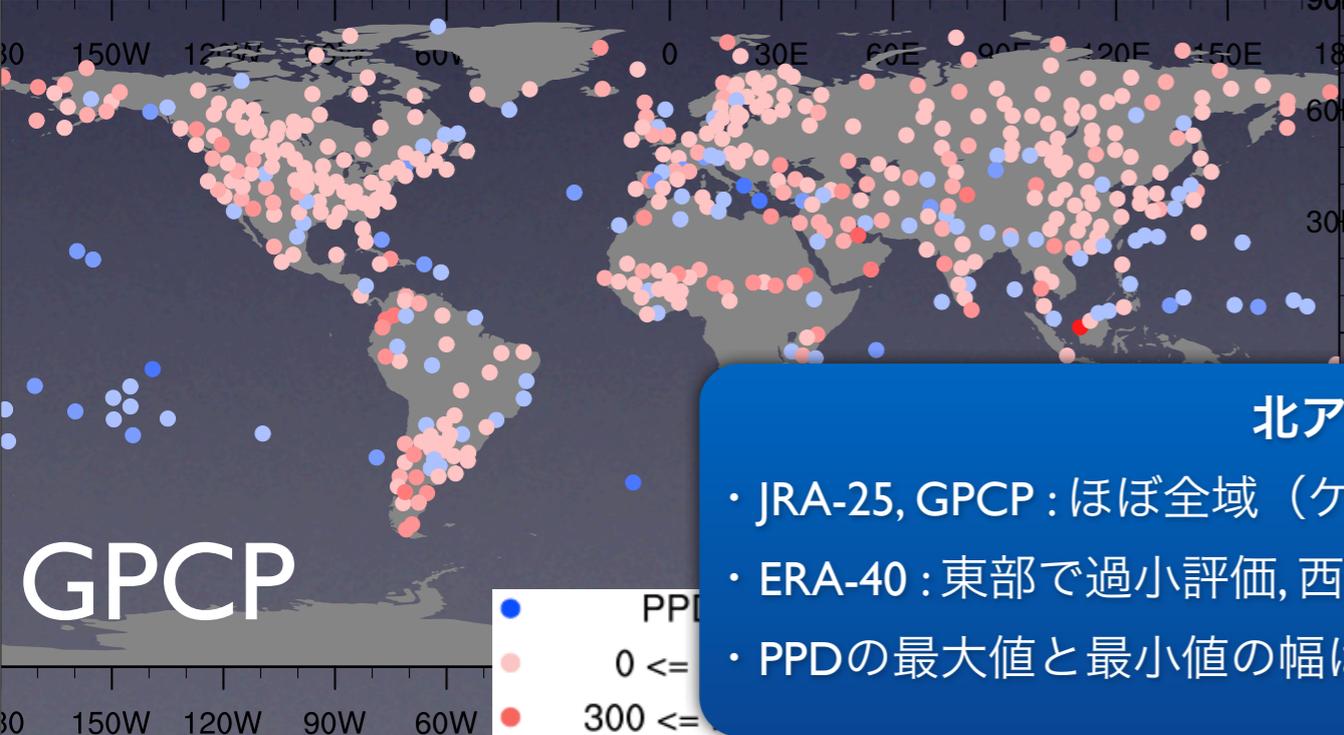
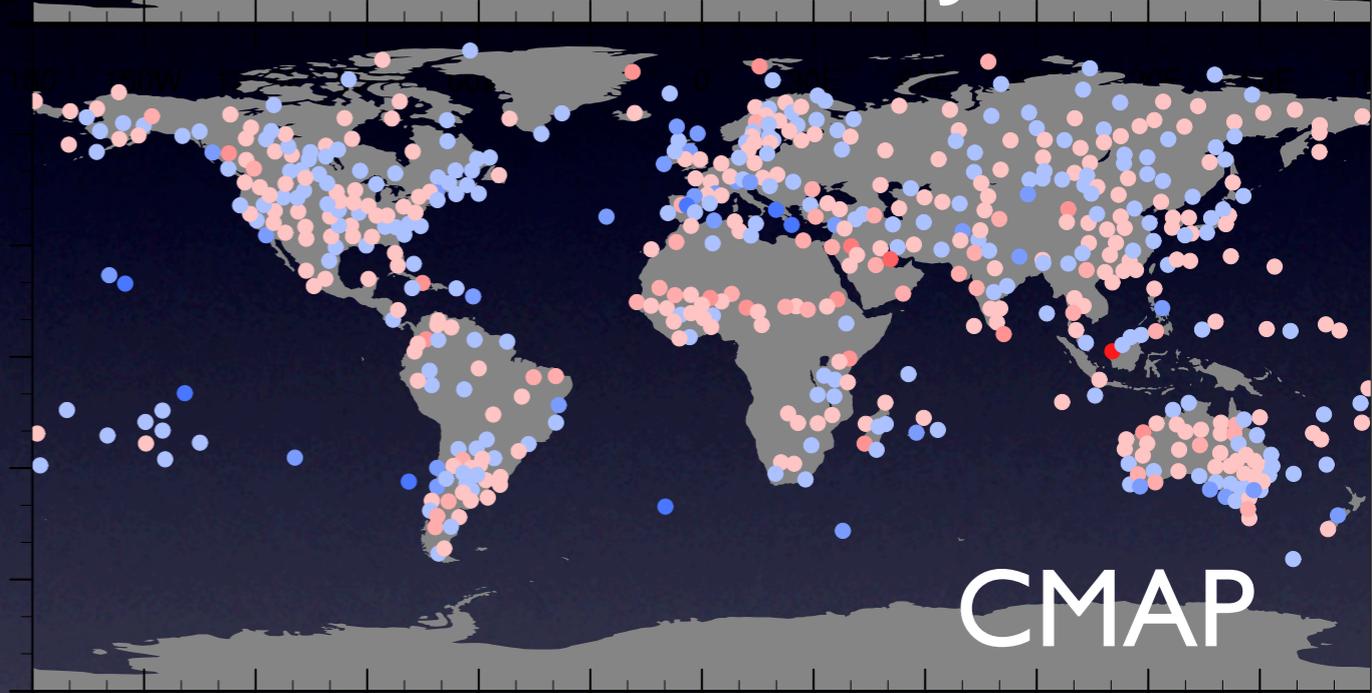
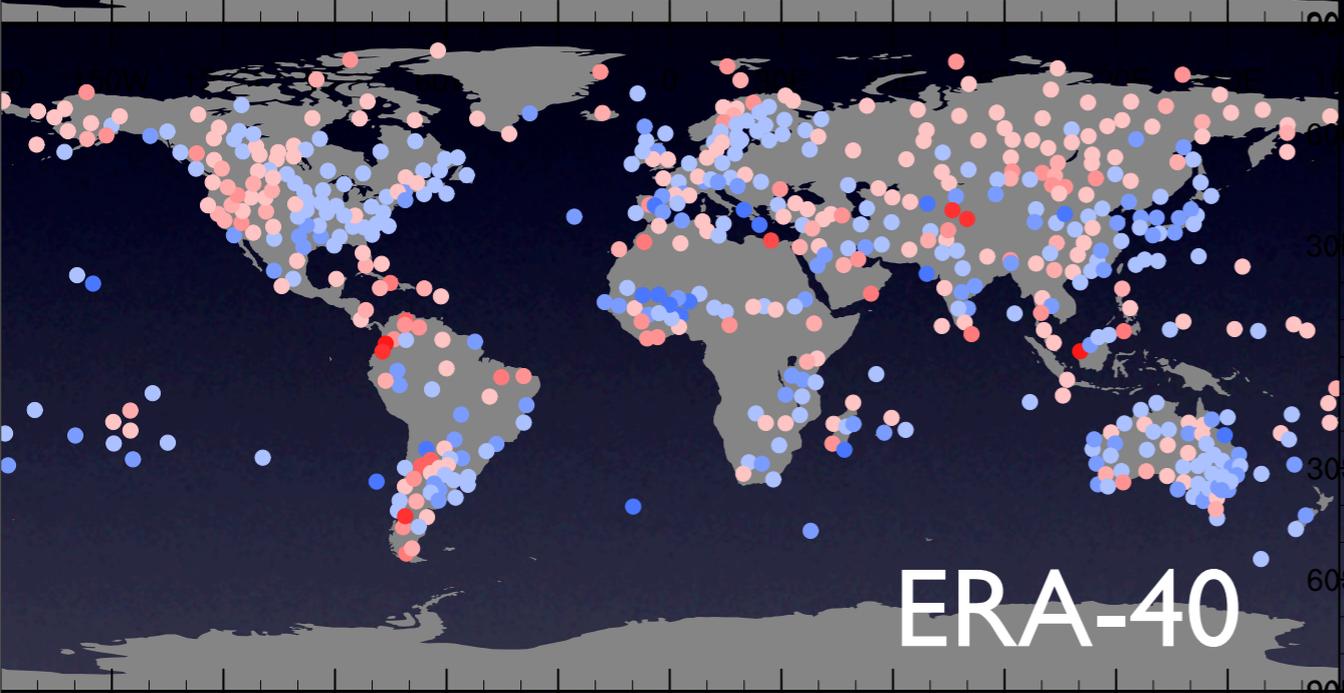
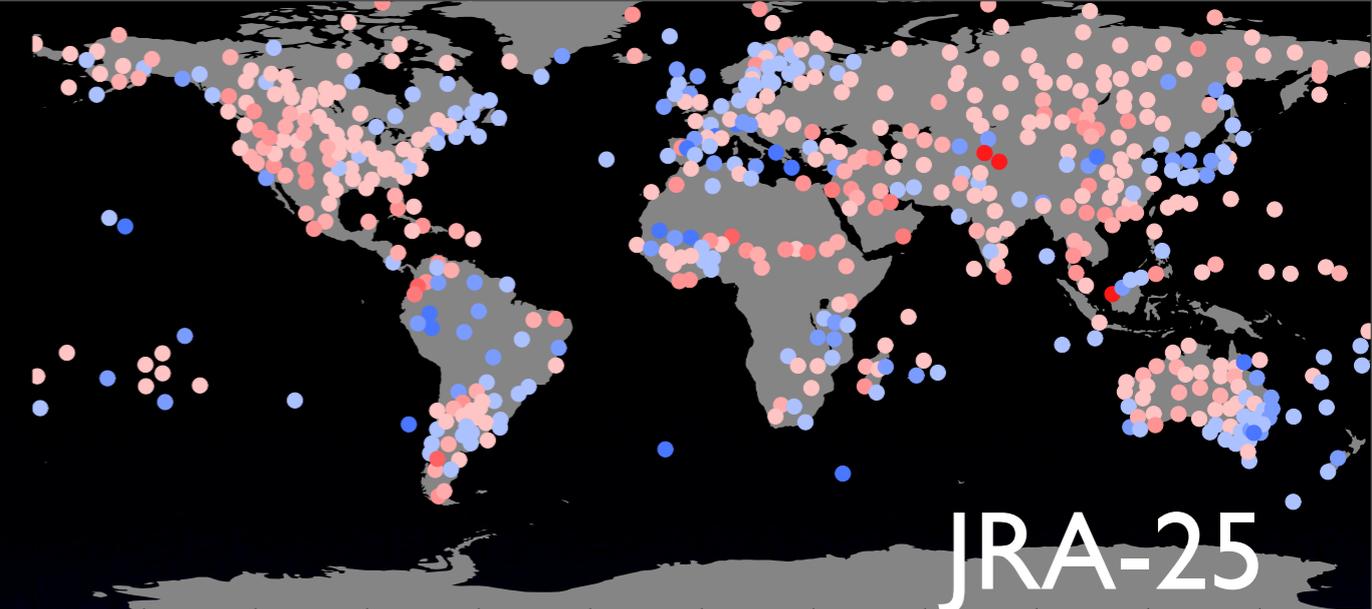
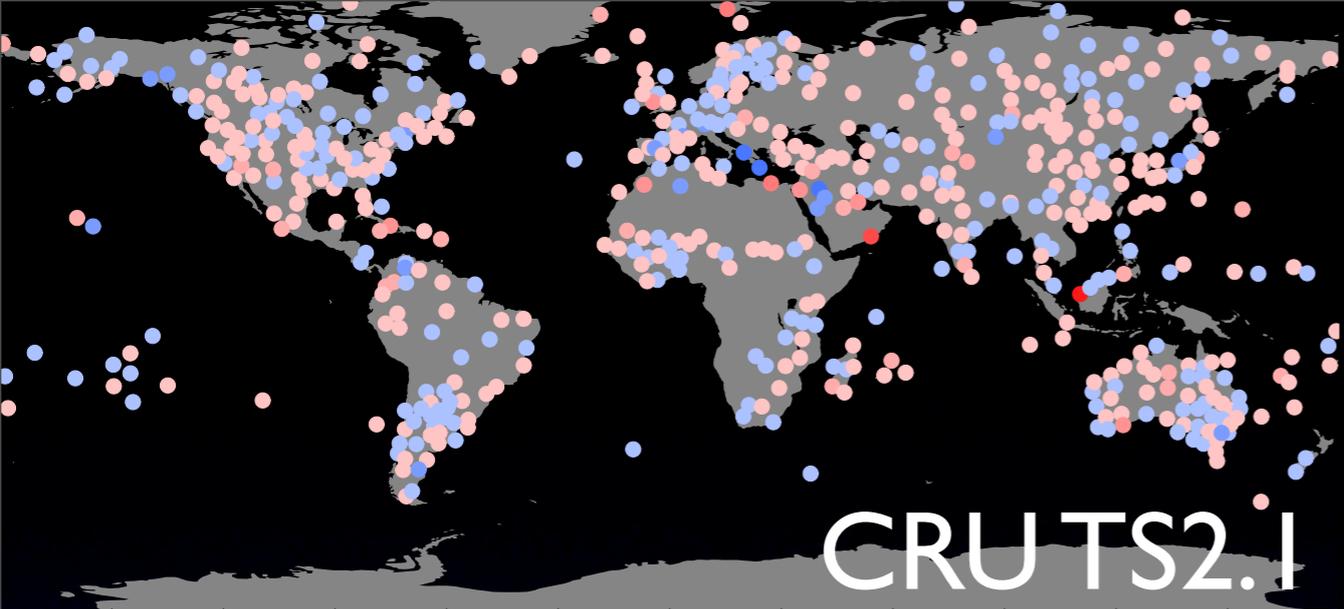
GPCP : 3月~6月におけるPPDの値は他の月比較して相対的に高い(>10%)。 CRUTS 2.1とCMAPの各月・年降水量が比較的NNDCに近く、再現性が高い。 特にCRUTS2.1の平均絶対誤差、標準偏差は他と比べて小さい傾向

JRA-25の平均絶対誤差は、春から秋にかけて特に大きい

JRA-25の過大評価, ERA-40の過小評価





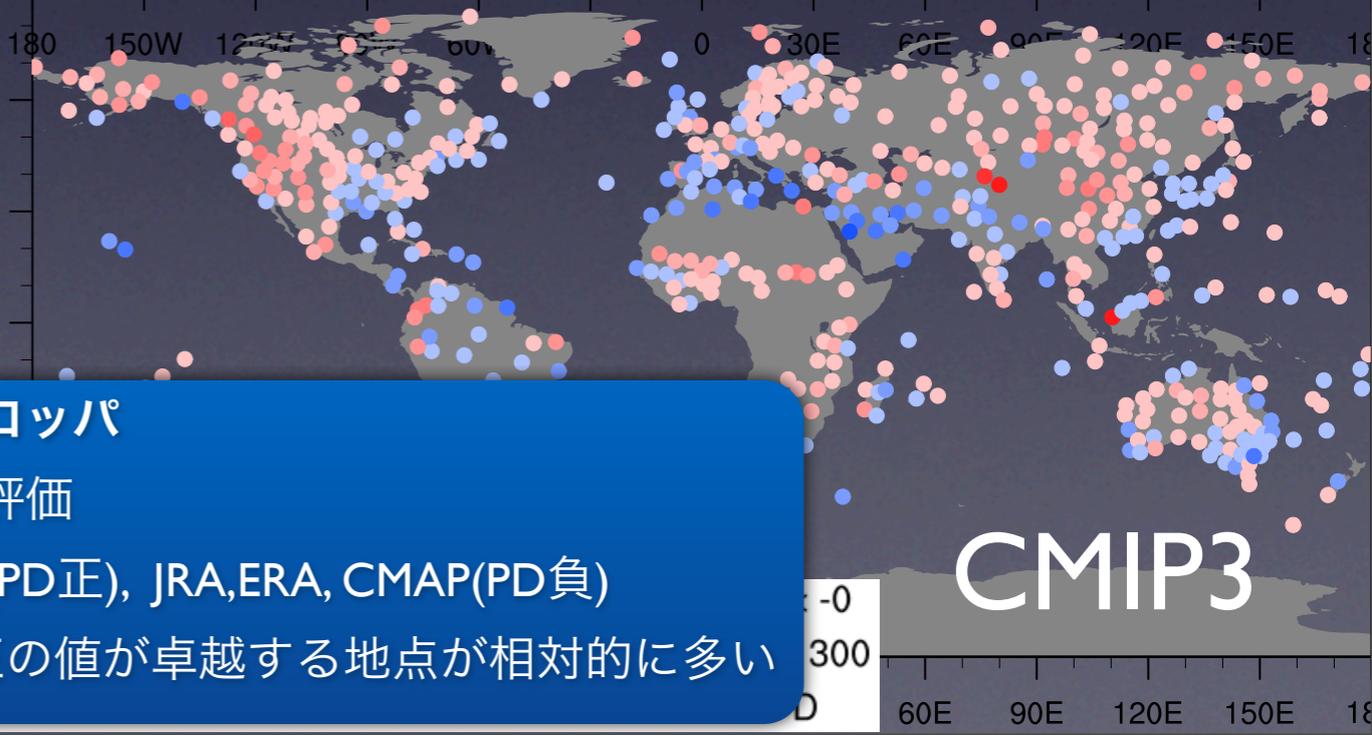
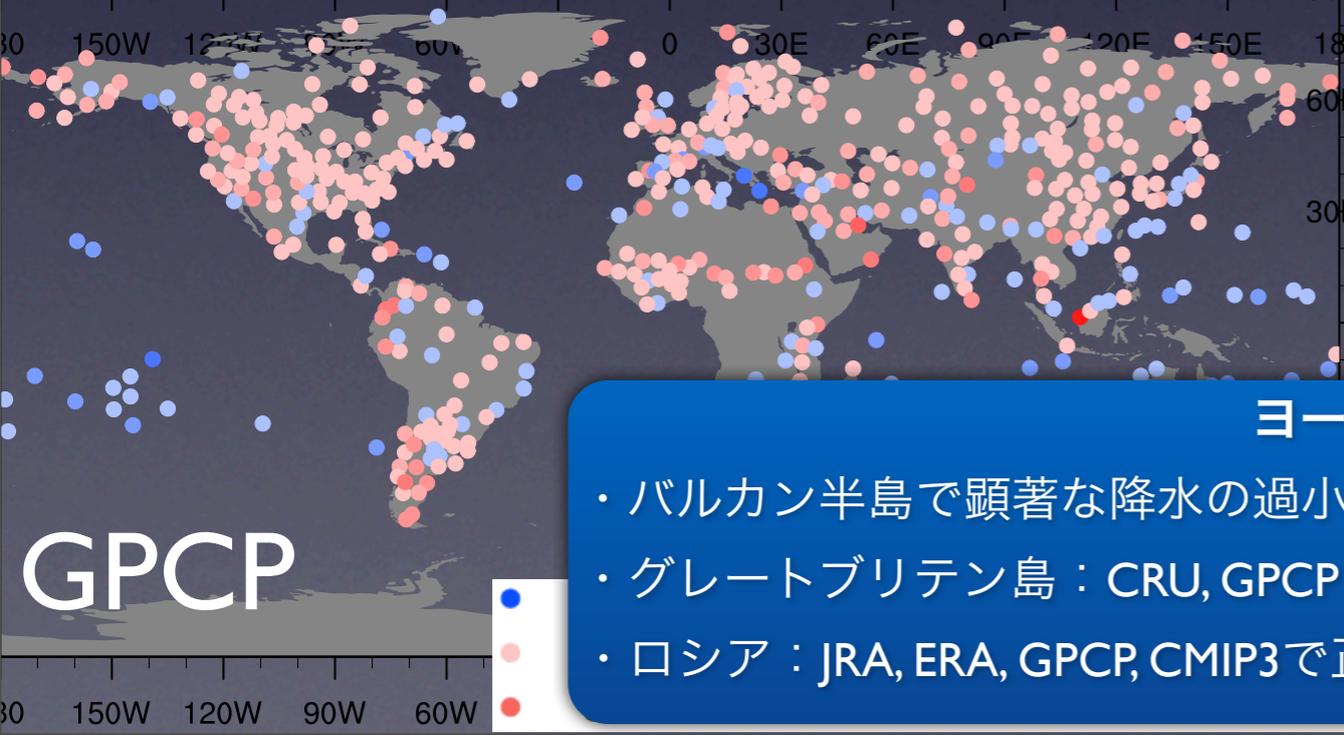
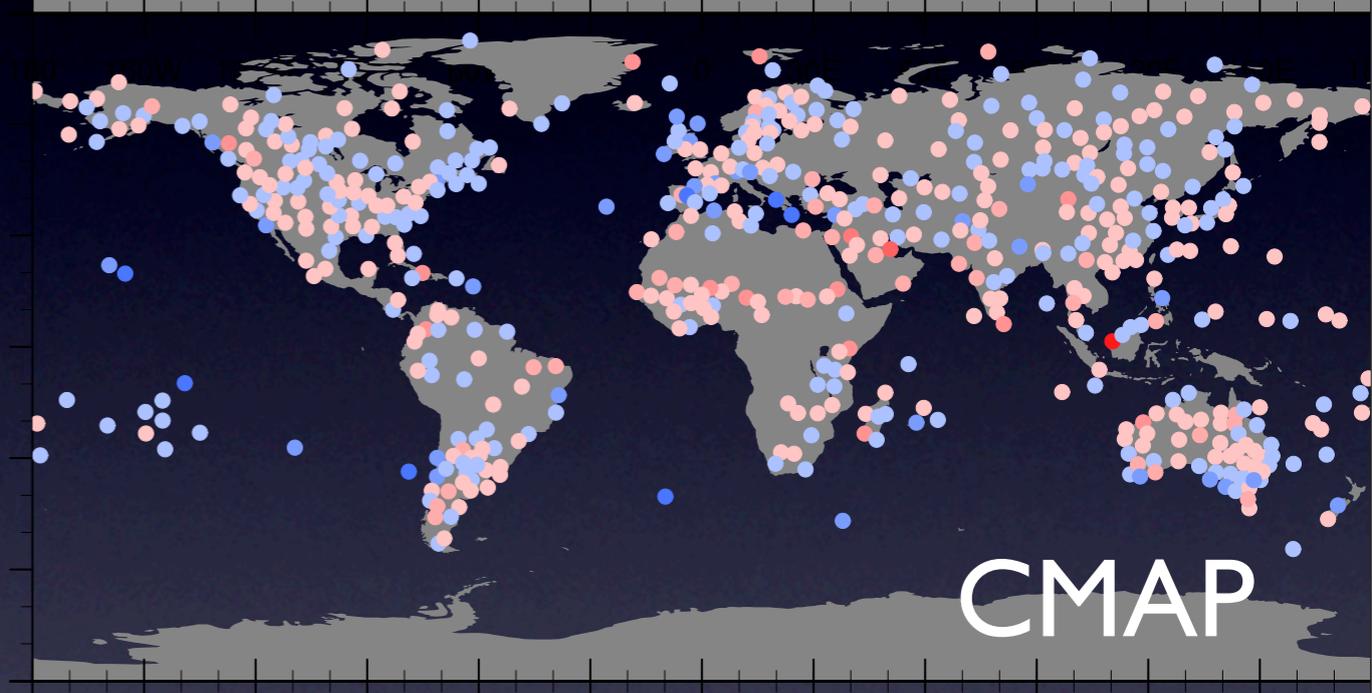
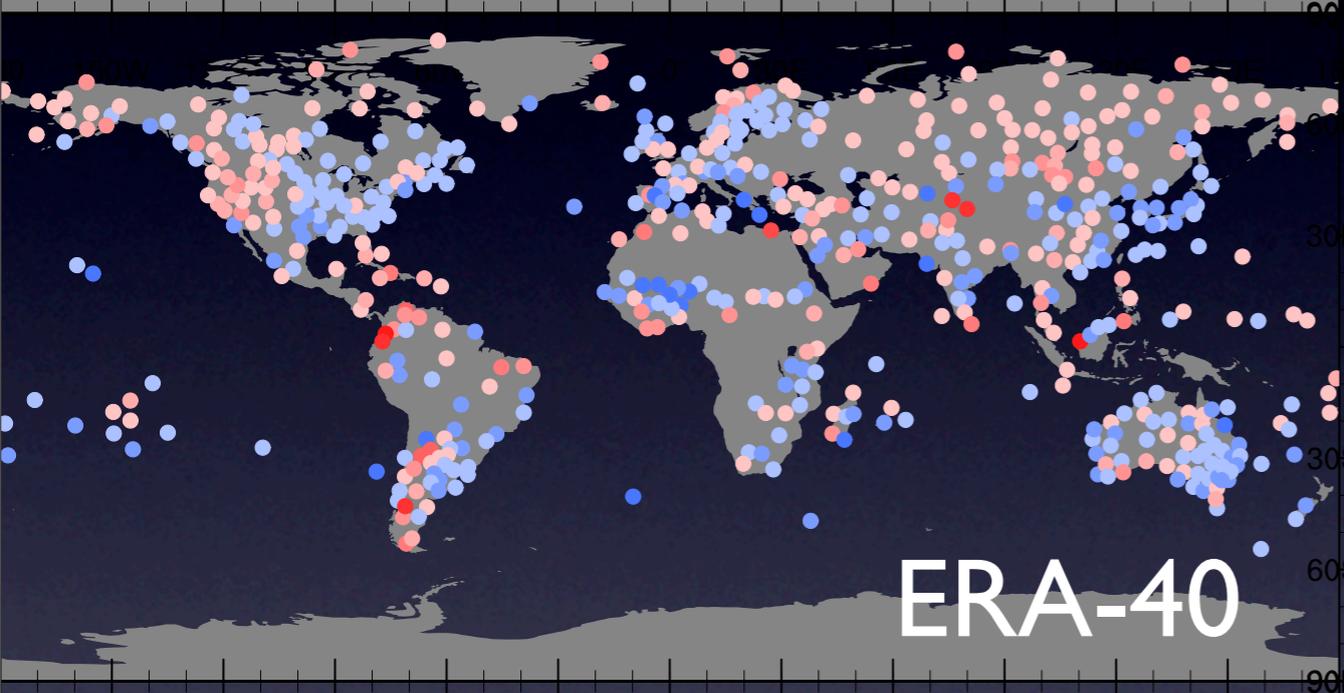
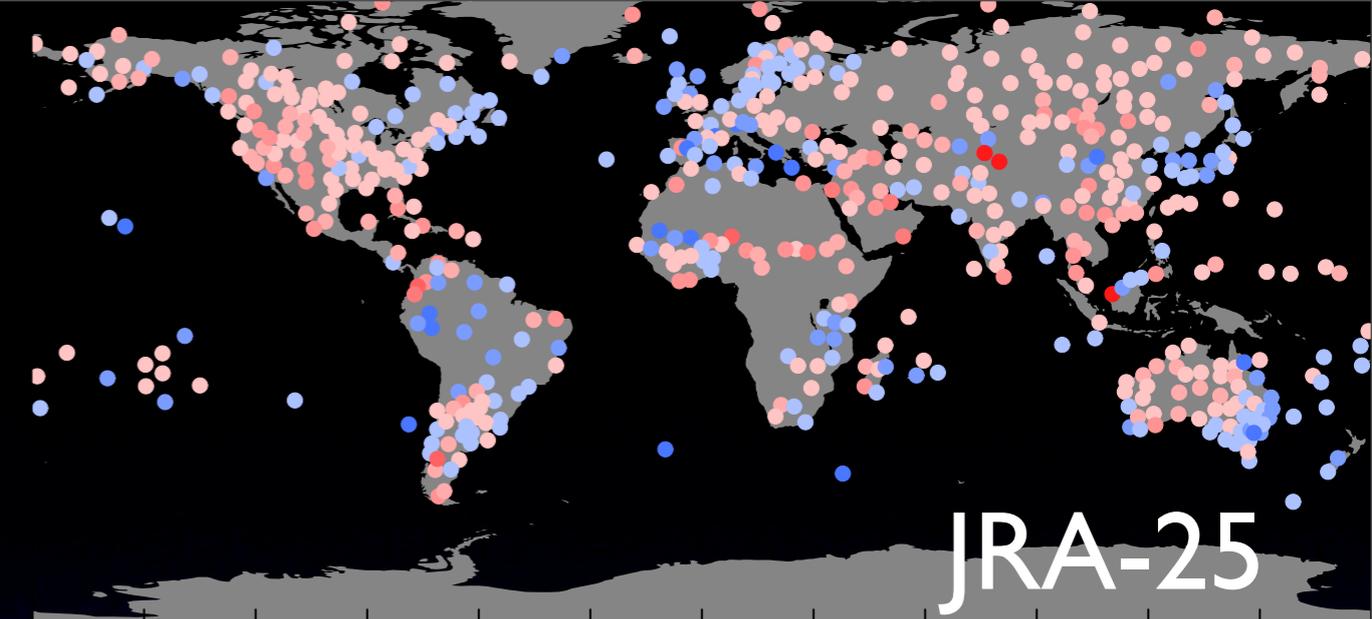
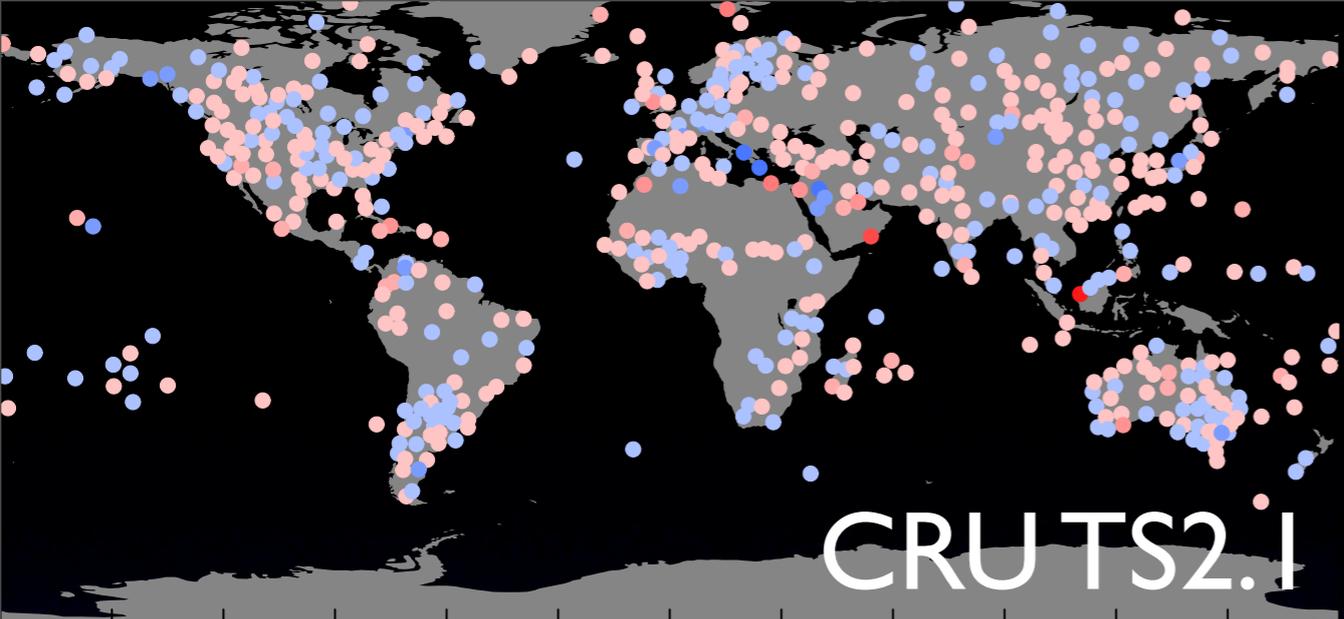


北アメリカ

- ・ JRA-25, GPCP : ほぼ全域 (ケベック州を除く) で過大評価
- ・ ERA-40 : 東部で過小評価, 西部(ロッキー山脈) で過大評価
- ・ PPDの最大値と最小値の幅はCRU TS2.1が最小

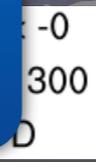
● PPD < -0
● 0 <= PPD < 300
● 300 <= PPD

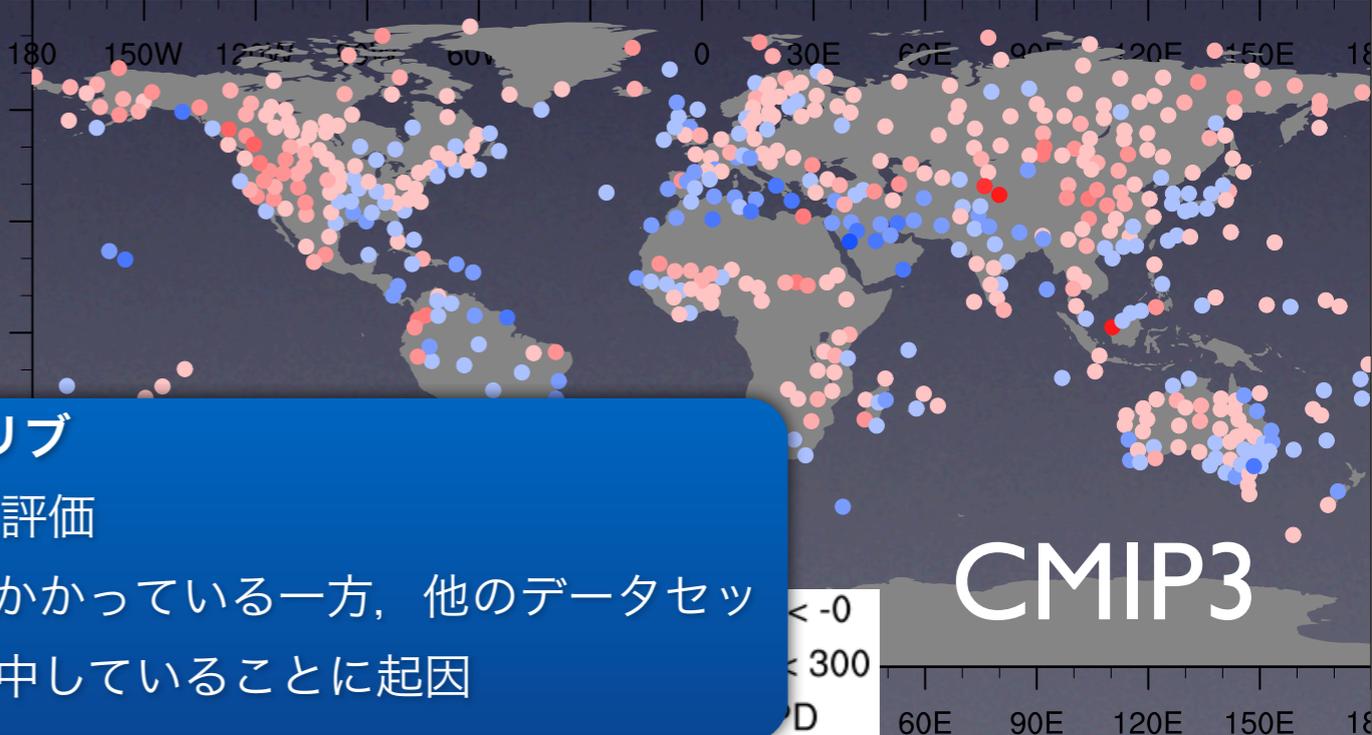
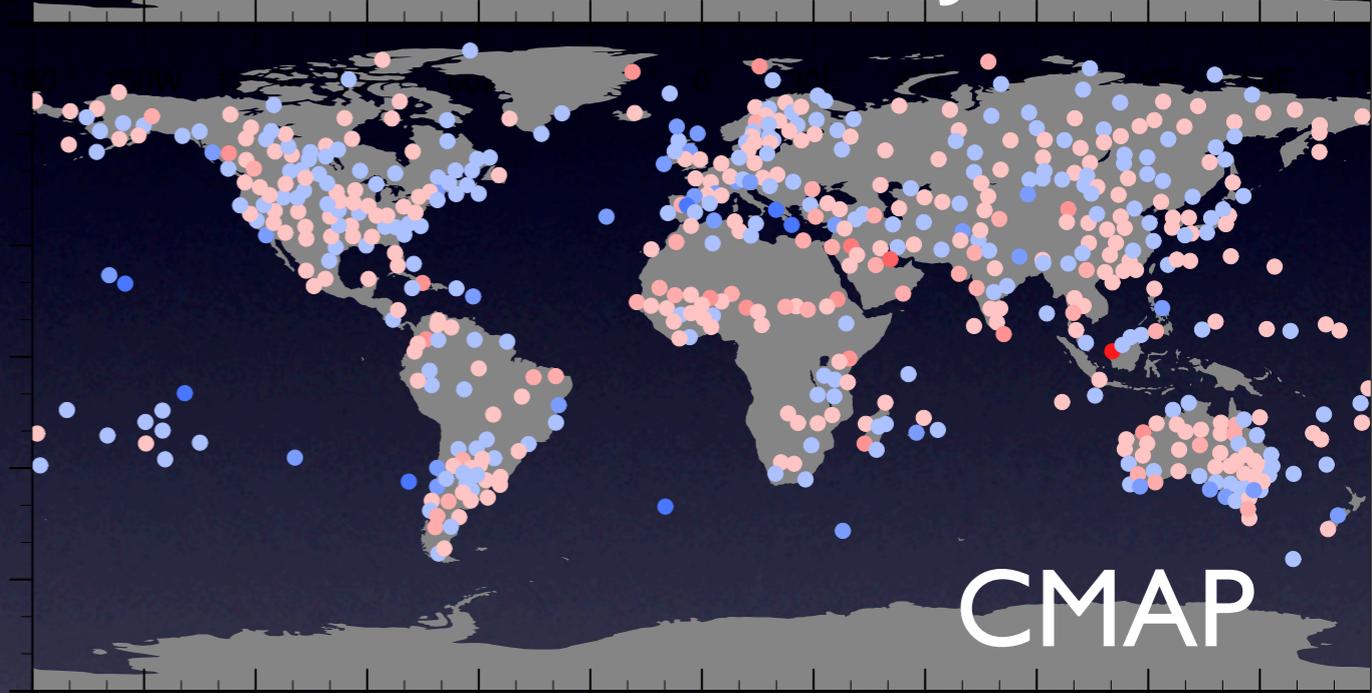
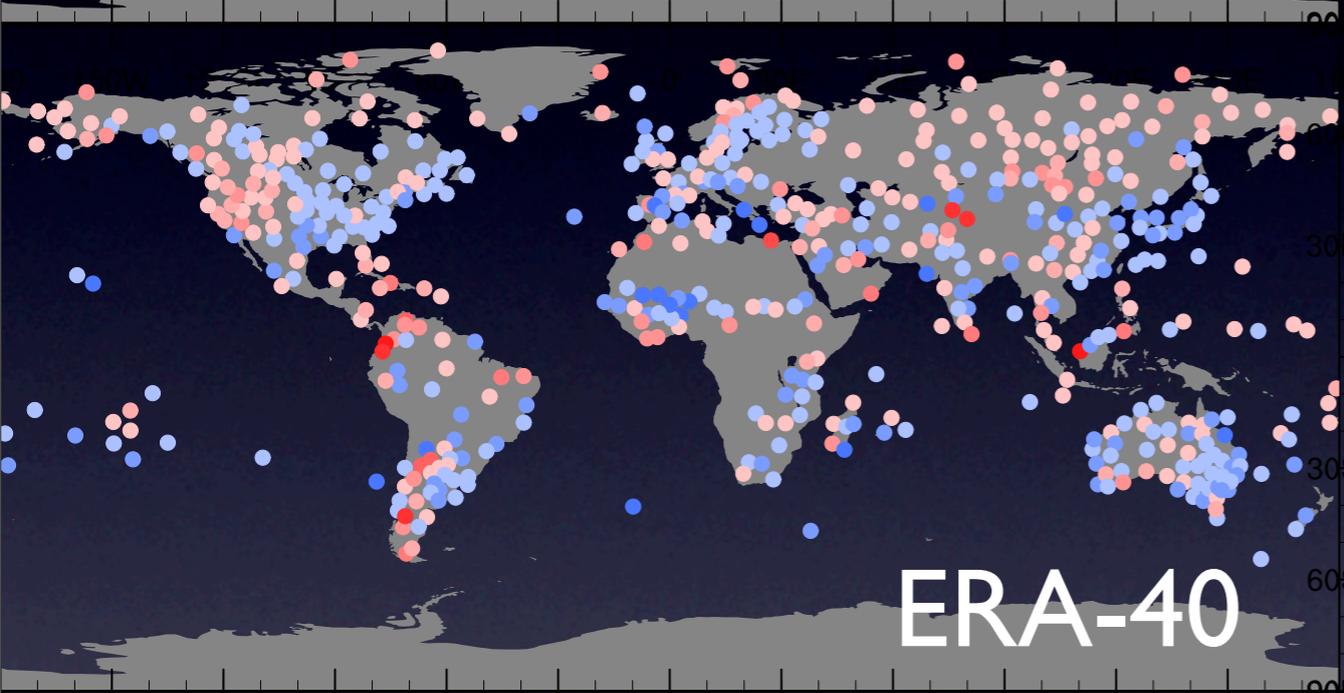
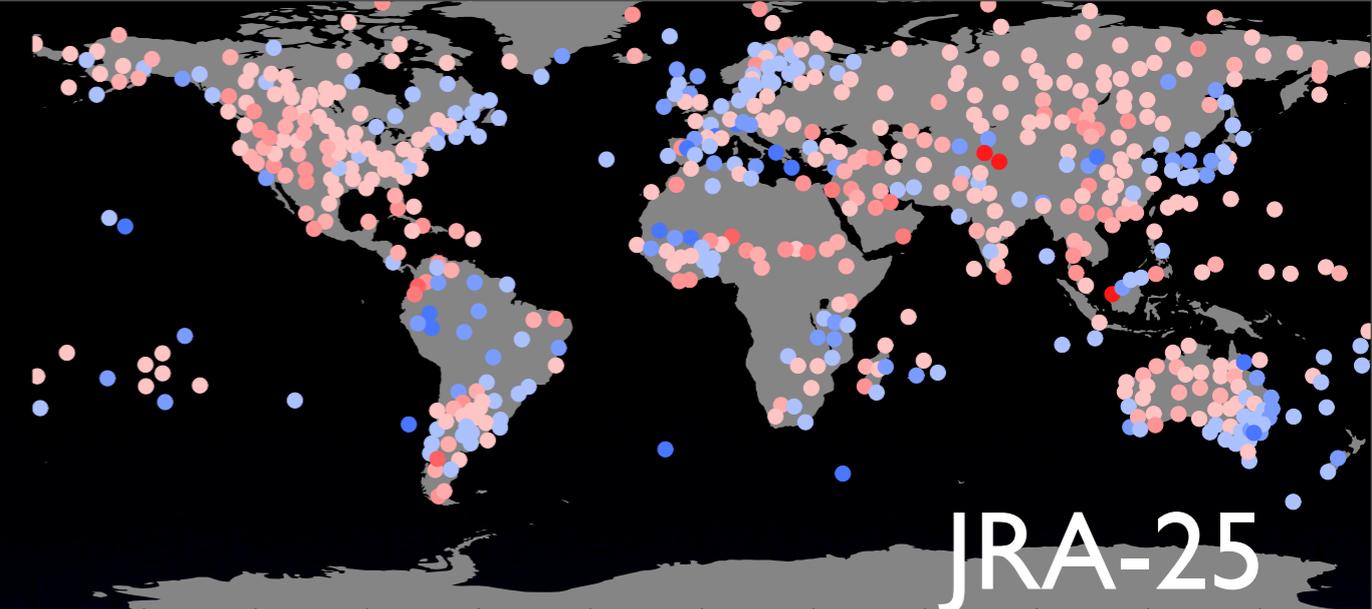
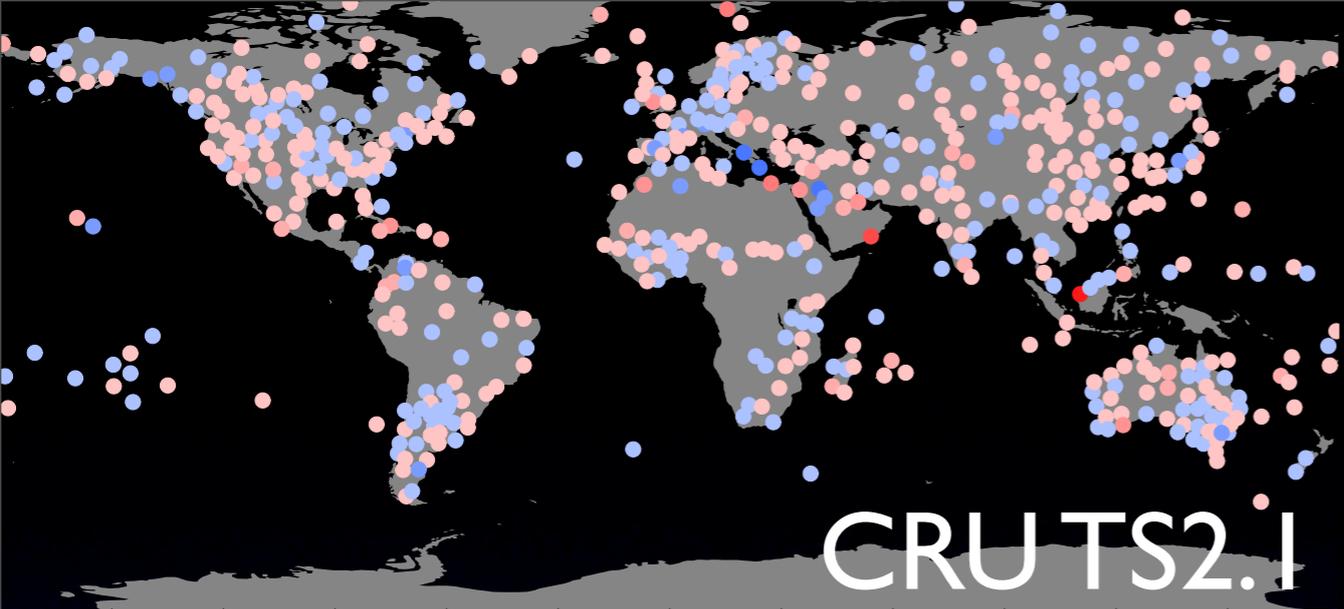
● PPD < -0
● PPD < 300
● 300 <= PPD



ヨーロッパ

- ・バルカン半島で顕著な降水の過小評価
- ・グレートブリテン島：CRU, GPCP (PD正), JRA, ERA, CMAP (PD負)
- ・ロシア：JRA, ERA, GPCP, CMIP3で正の値が卓越する地点が相対的に多い

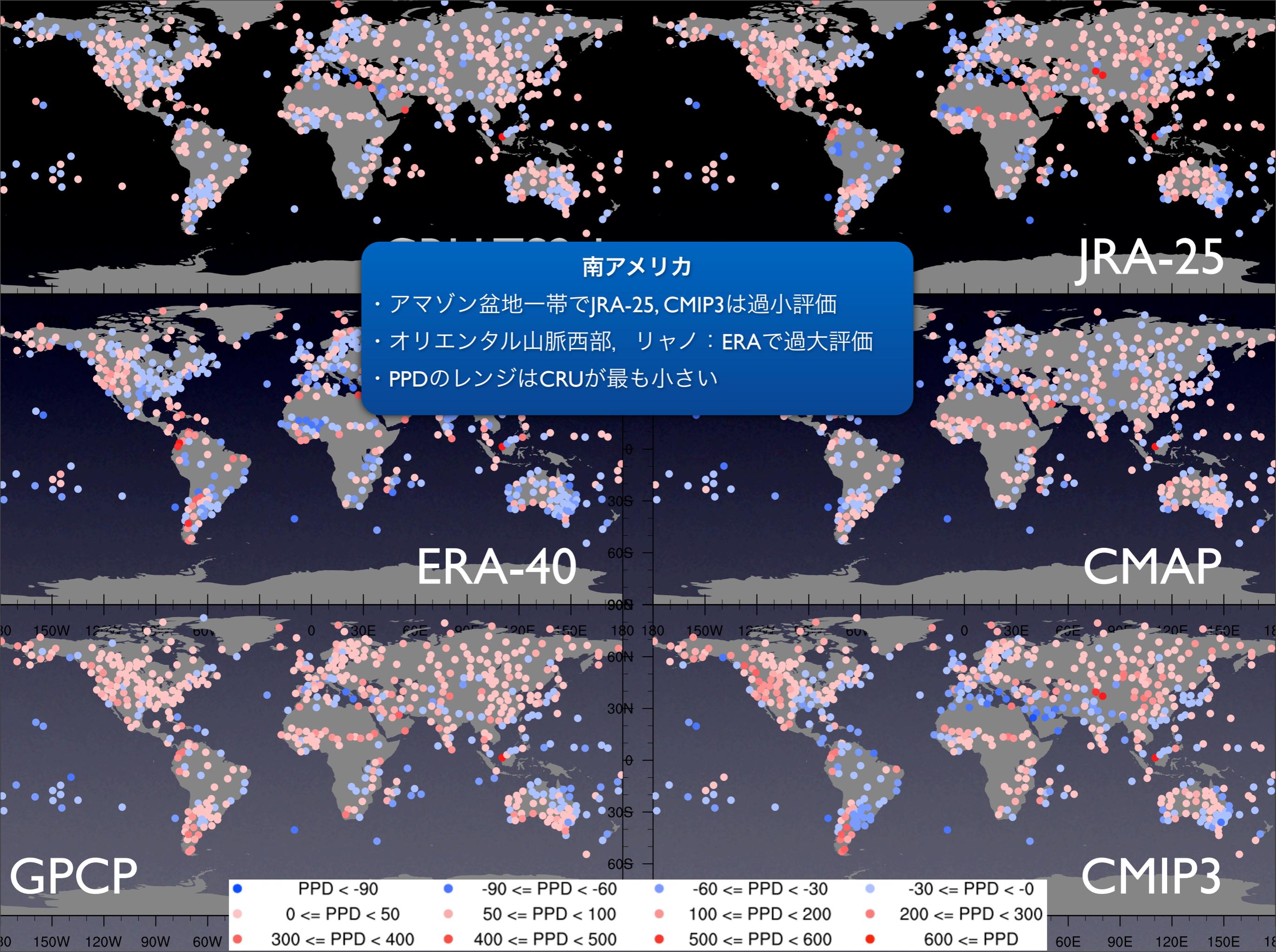


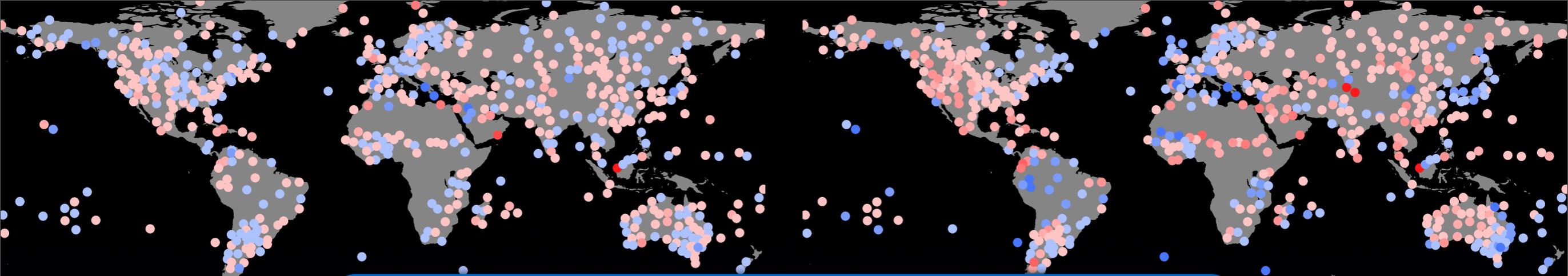


カリブ

- CRU TS2.1, JRA-25, ERA-40で過大評価
- この地域において対流性の降雨がかかっている一方、他のデータセットではカリブ陸域以南に降雨帯が集中していることに起因







JRA-25

オセアニア

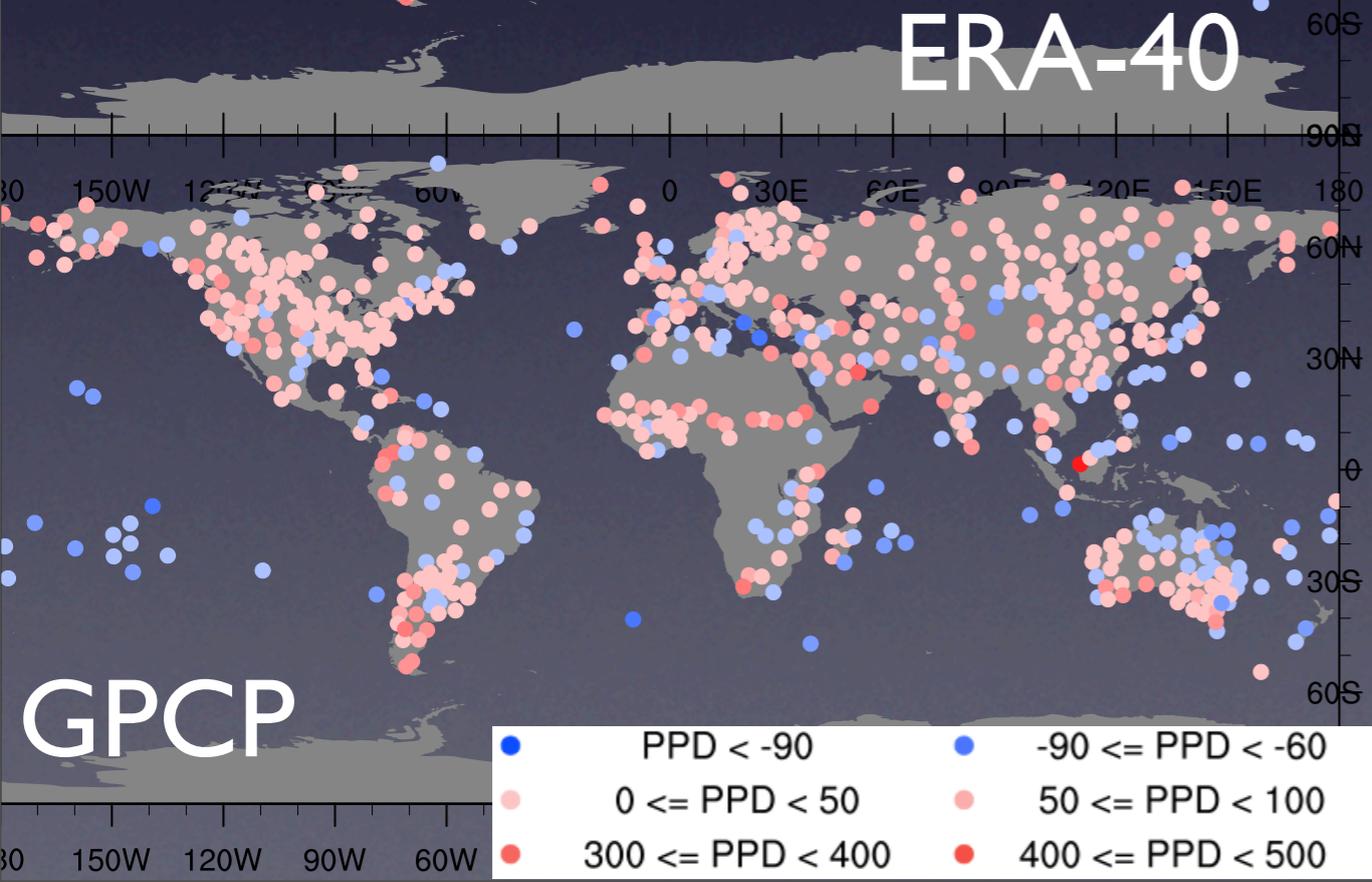
- ・ ミクロネシア諸島でJRAが過剰降水. 一方GPCPは過小降水
- ・ オーストラリア東部沿岸：JRA,-25 ERA-40, CMIP3でPPD負の領域が卓越
- ・ ERAはオーストラリア大陸で他の比較してPDが負の領域が卓越
- ・ PD, PPDの正負の差はCRUTS2.1が最小



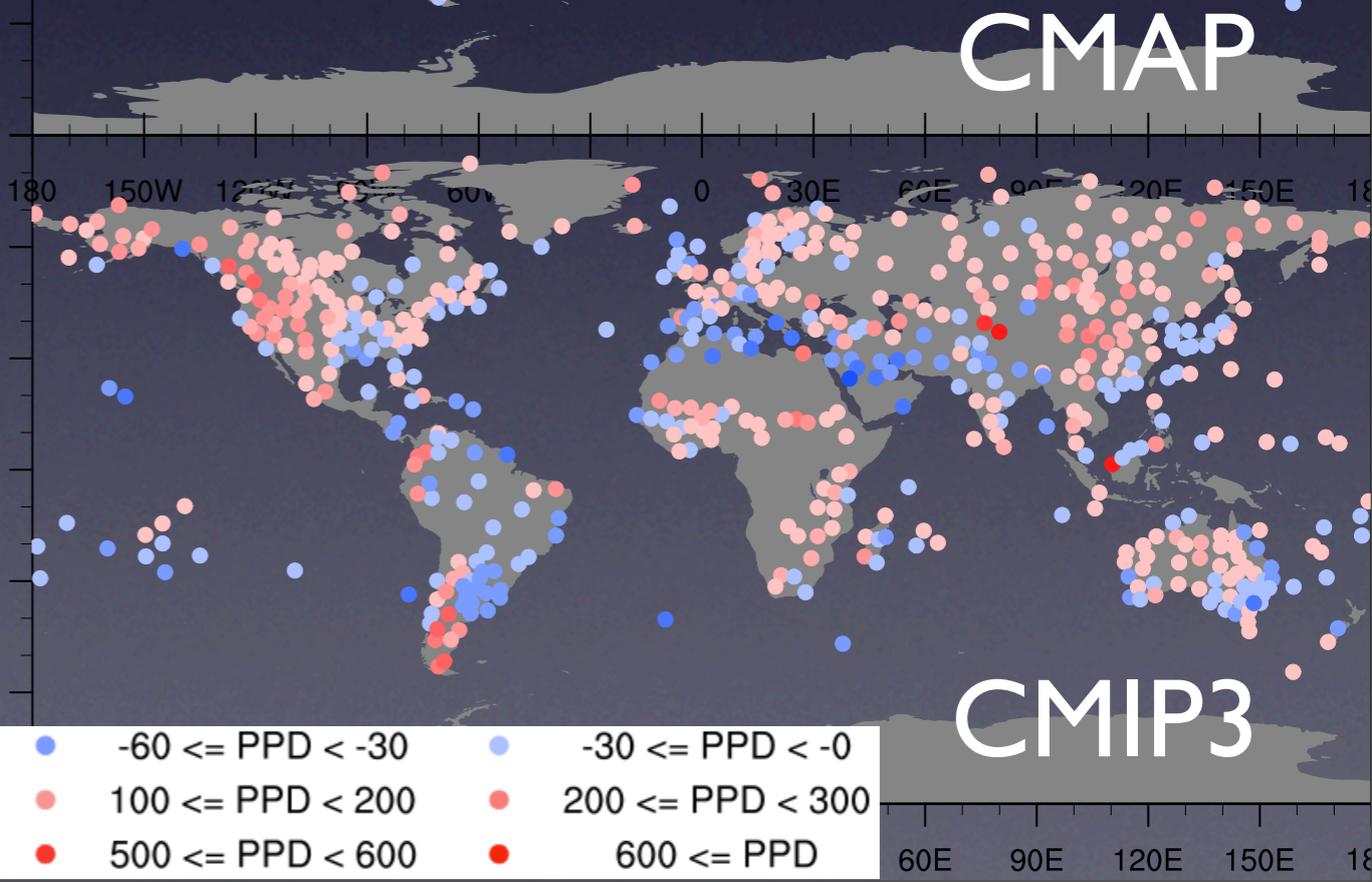
ERA-40



CMAP

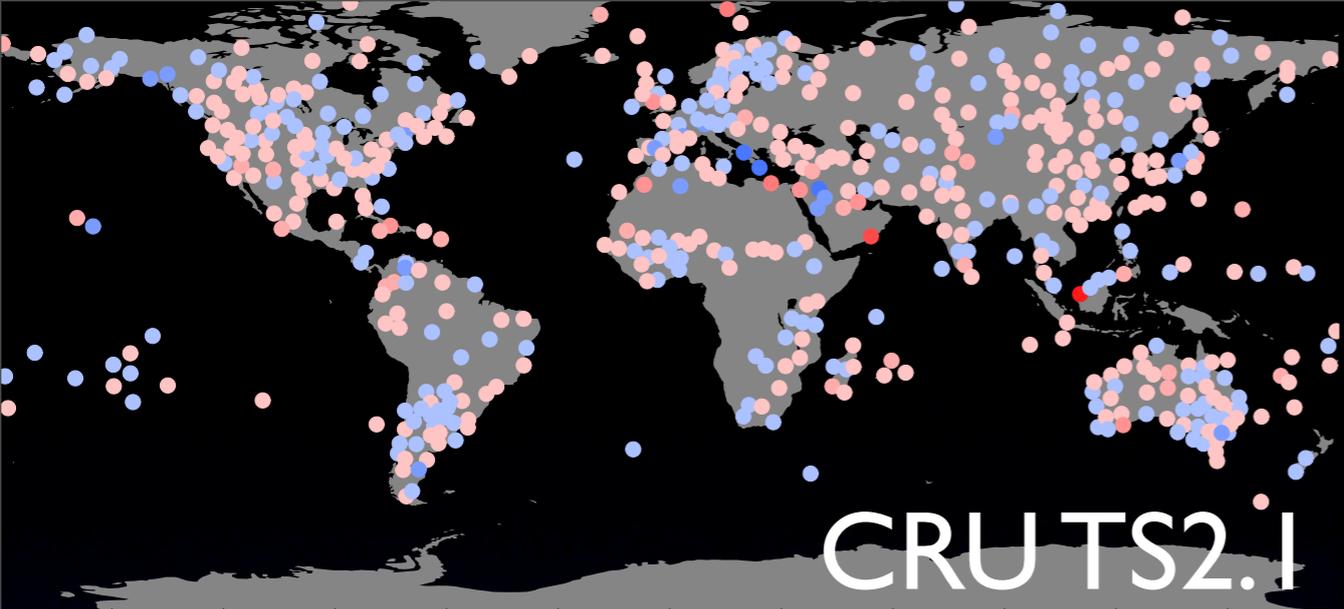


GPCP

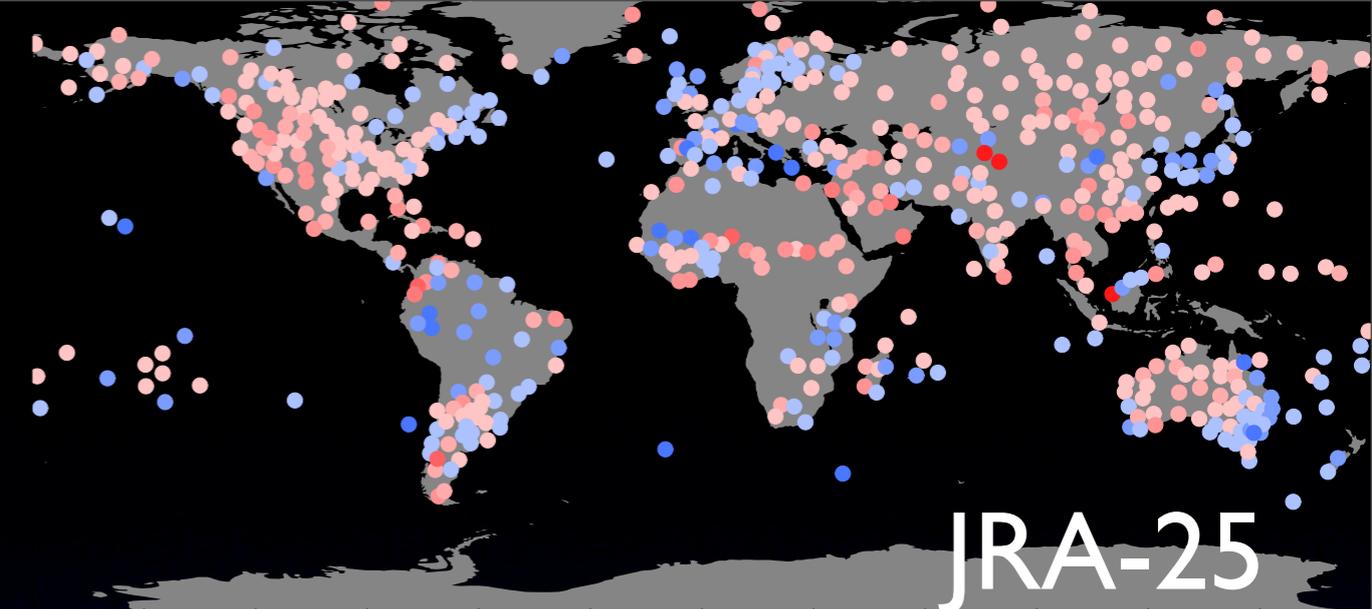


CMIP3

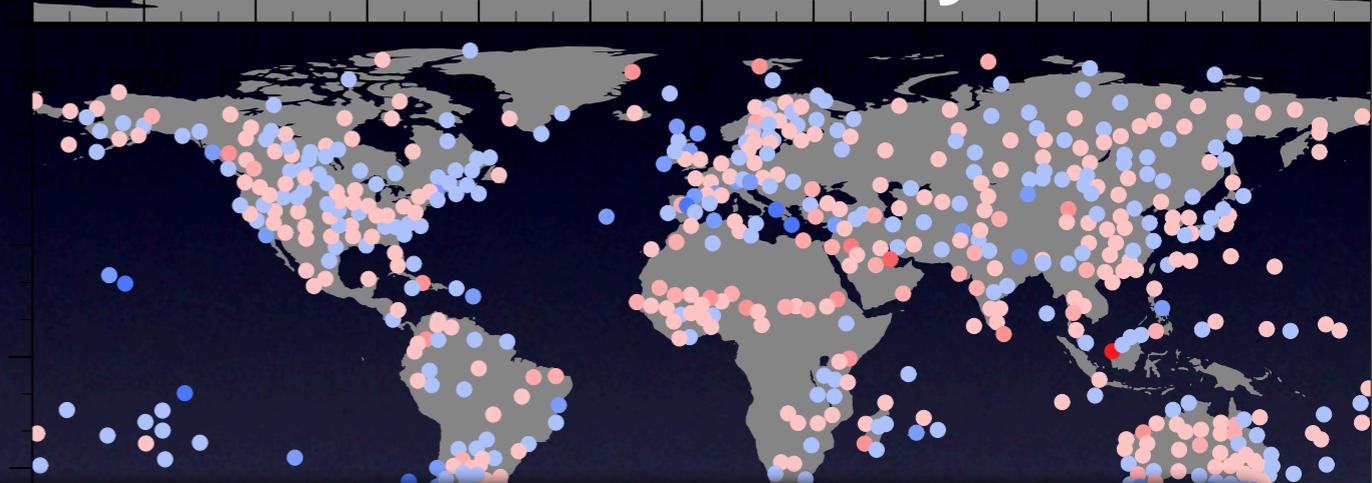
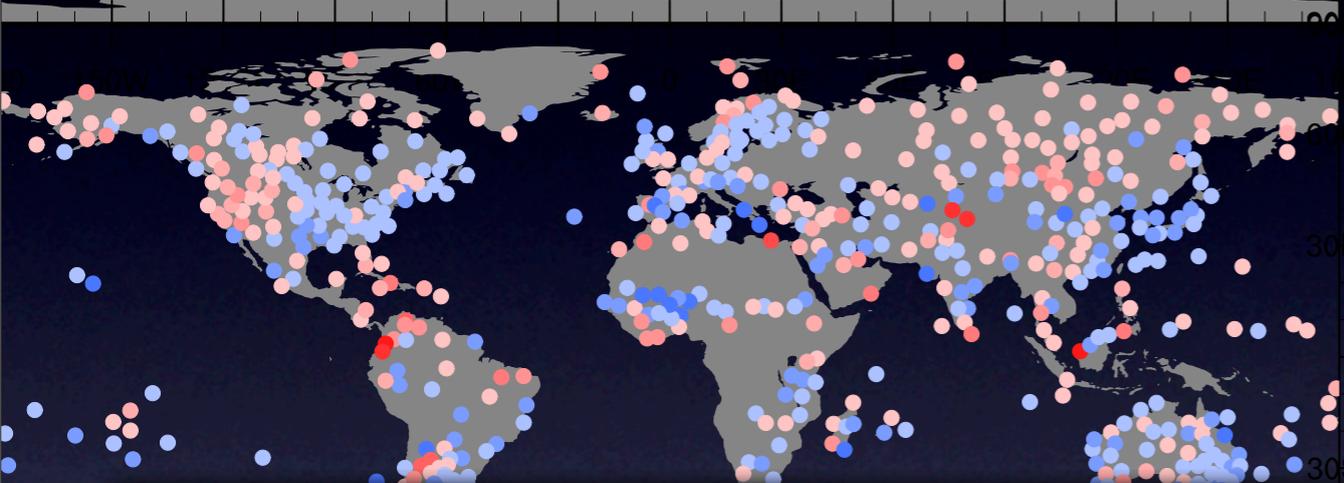
● PPD < -90	● -90 ≤ PPD < -60	● -60 ≤ PPD < -30	● -30 ≤ PPD < -0
● 0 ≤ PPD < 50	● 50 ≤ PPD < 100	● 100 ≤ PPD < 200	● 200 ≤ PPD < 300
● 300 ≤ PPD < 400	● 400 ≤ PPD < 500	● 500 ≤ PPD < 600	● 600 ≤ PPD



CRU TS2.1



JRA-25



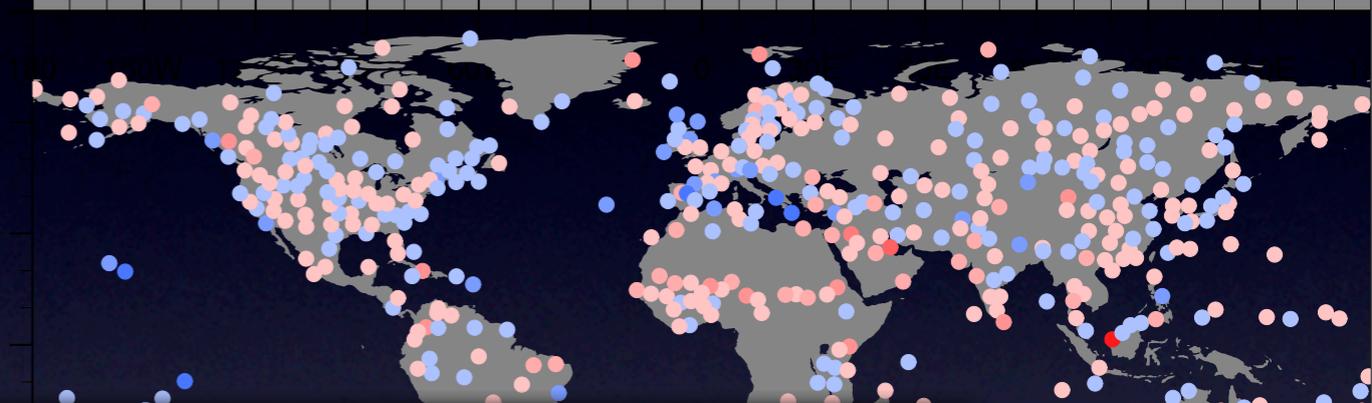
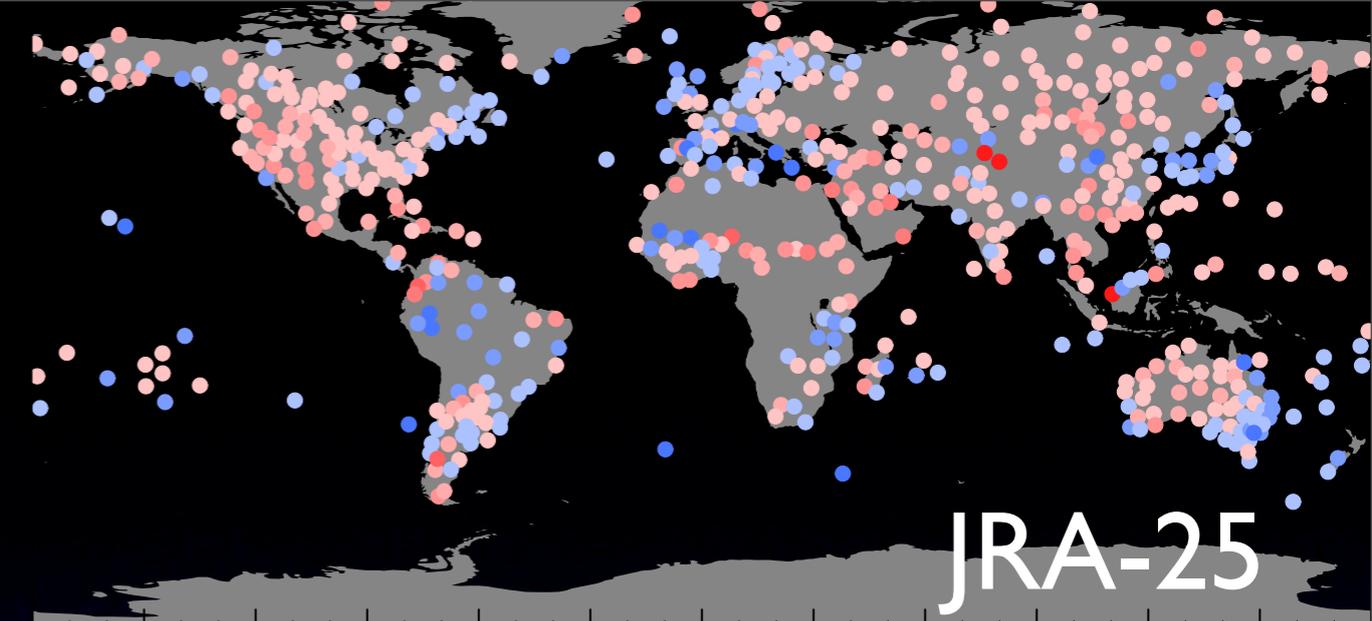
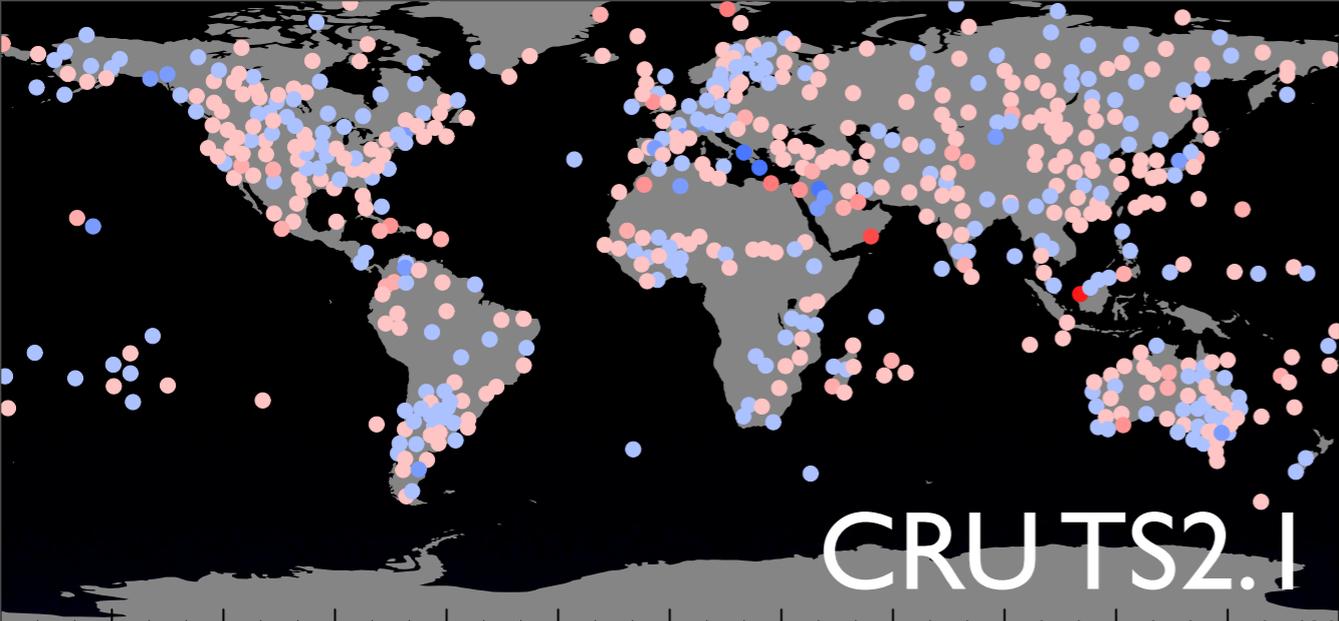
アフリカ

- ・ベナン湾沿岸：JRA-25, ERA-40でPD大
- ・ベナン湾沿岸を除くサハラ砂漠以南チャド湖以西：JRA-25 ERA-40でPD負， CMAP, GPCPで正
- ・PPDの負の値はCRUが-34%で最も小さく， 正の値はCMAPが173%で最も小さい。 その差はCMAPが240%で最も小さい

GPCP

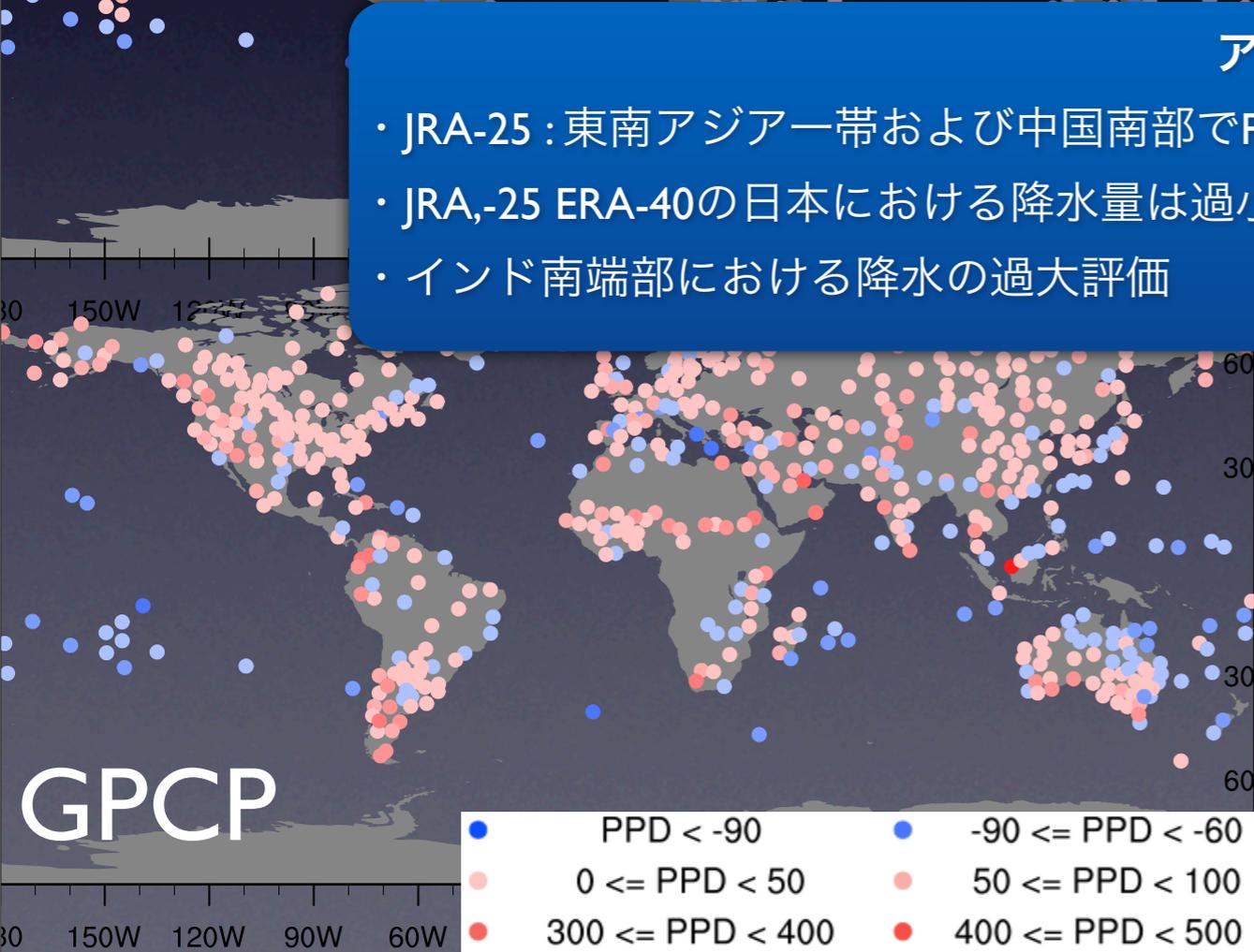
CMIP3

● PPD < -90	● -90 ≤ PPD < -60	● -60 ≤ PPD < -30	● -30 ≤ PPD < -0
● 0 ≤ PPD < 50	● 50 ≤ PPD < 100	● 100 ≤ PPD < 200	● 200 ≤ PPD < 300
● 300 ≤ PPD < 400	● 400 ≤ PPD < 500	● 500 ≤ PPD < 600	● 600 ≤ PPD

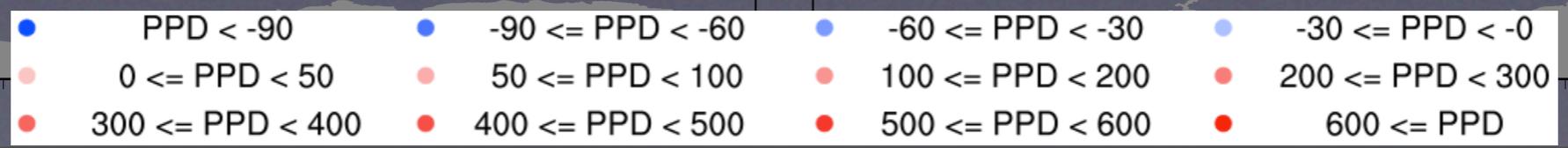
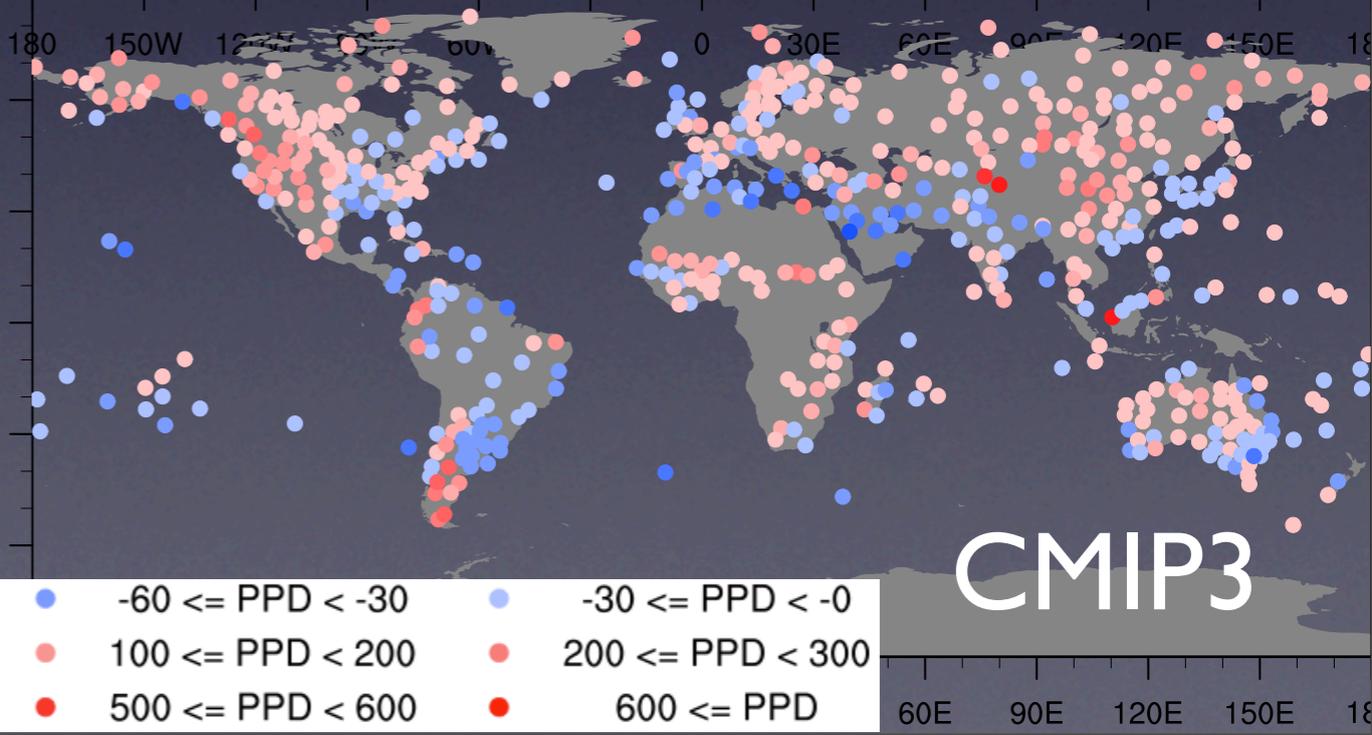
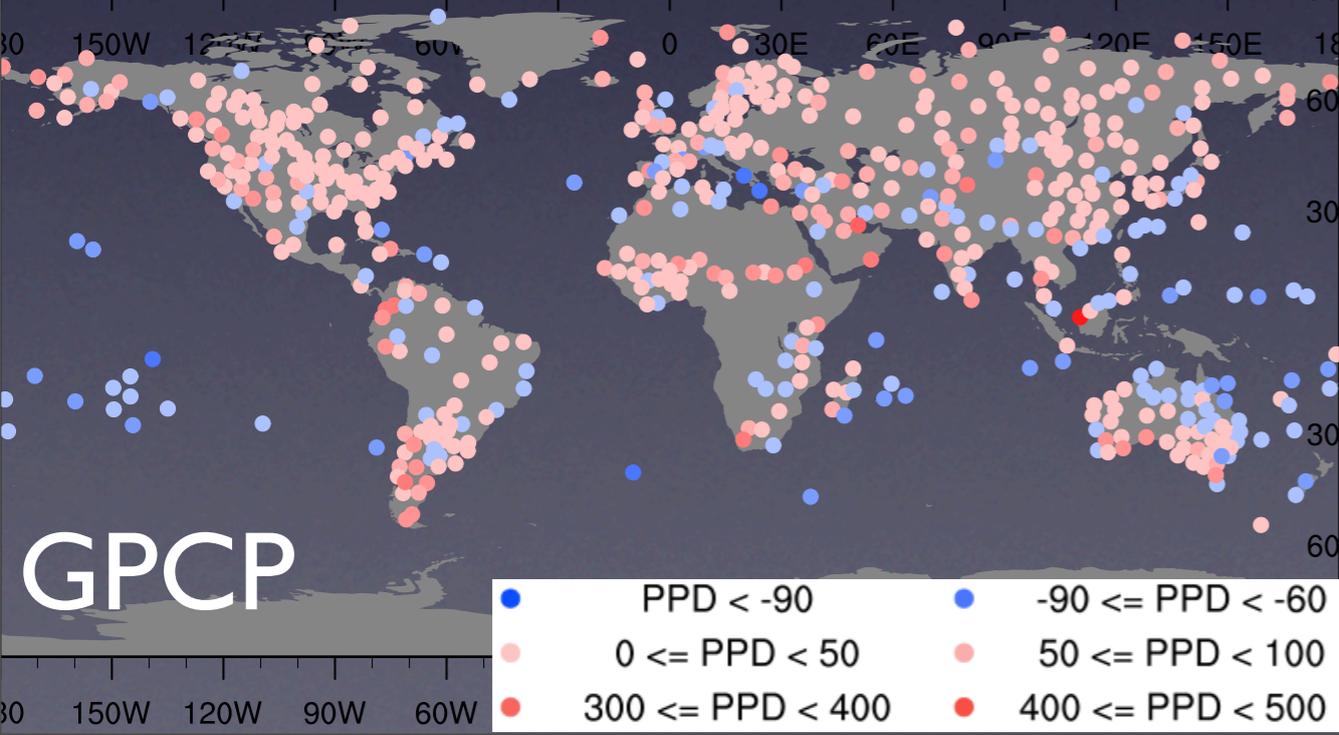
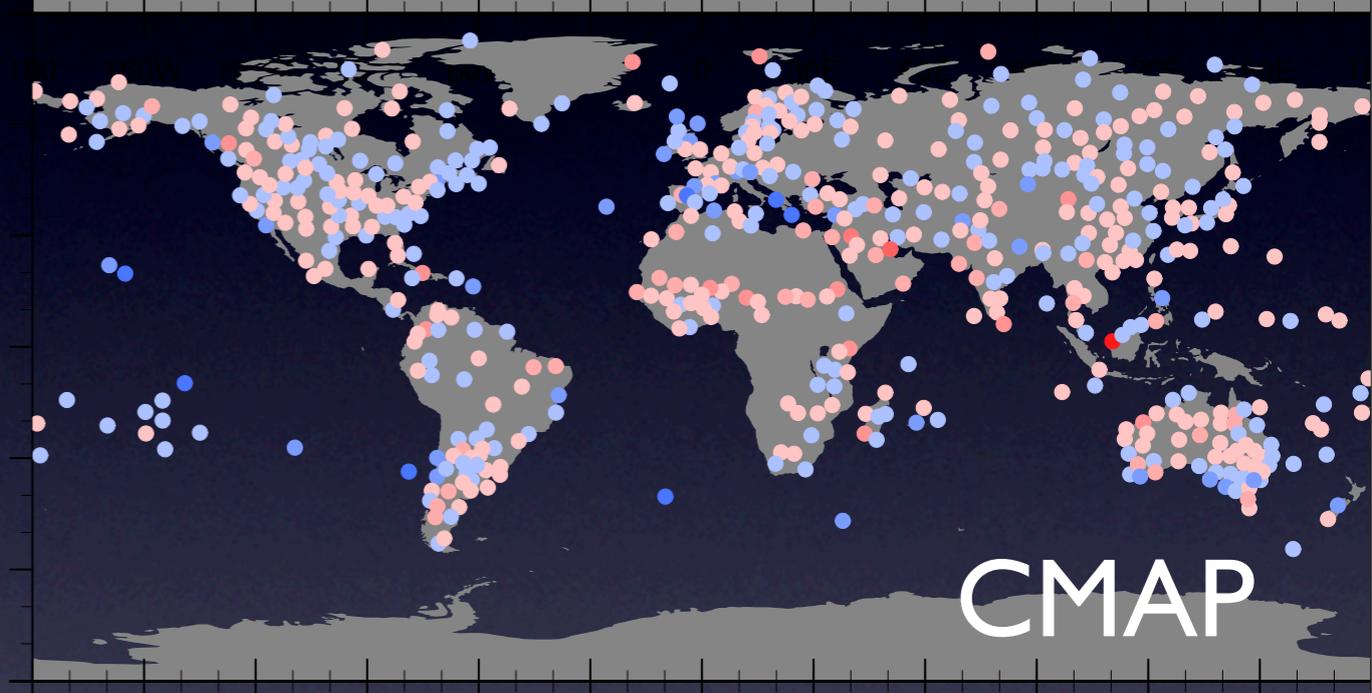
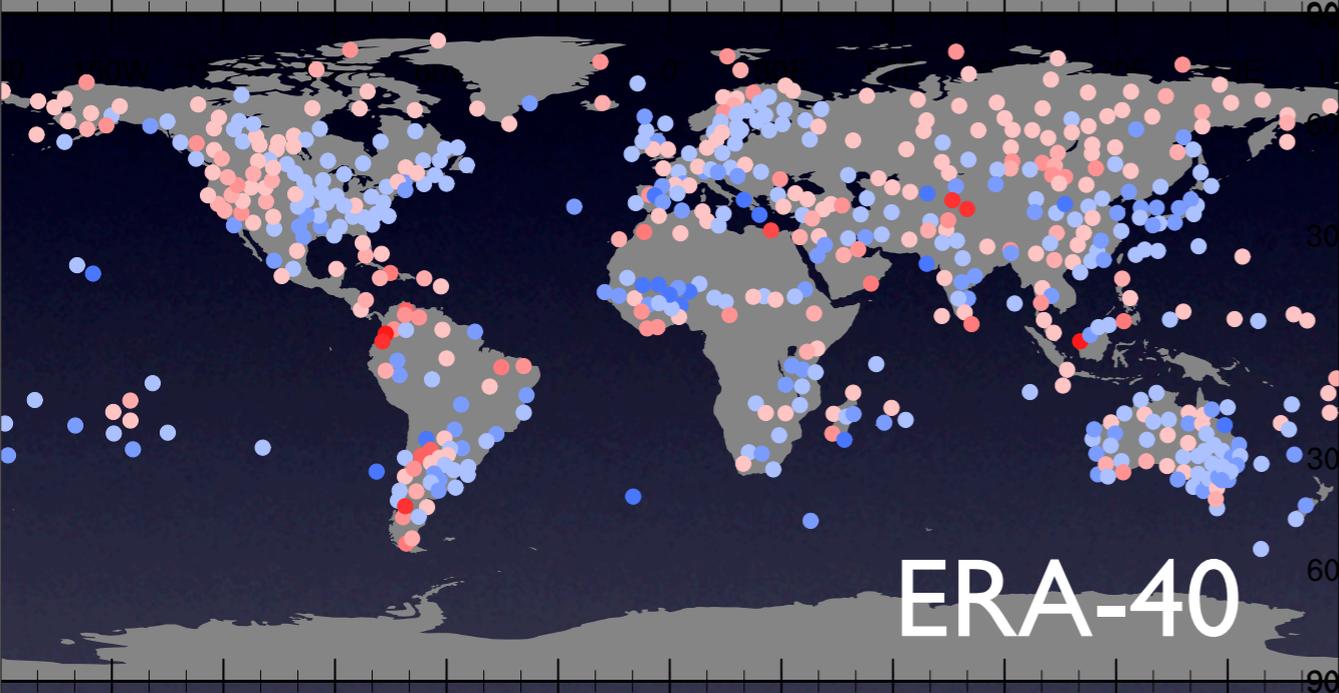
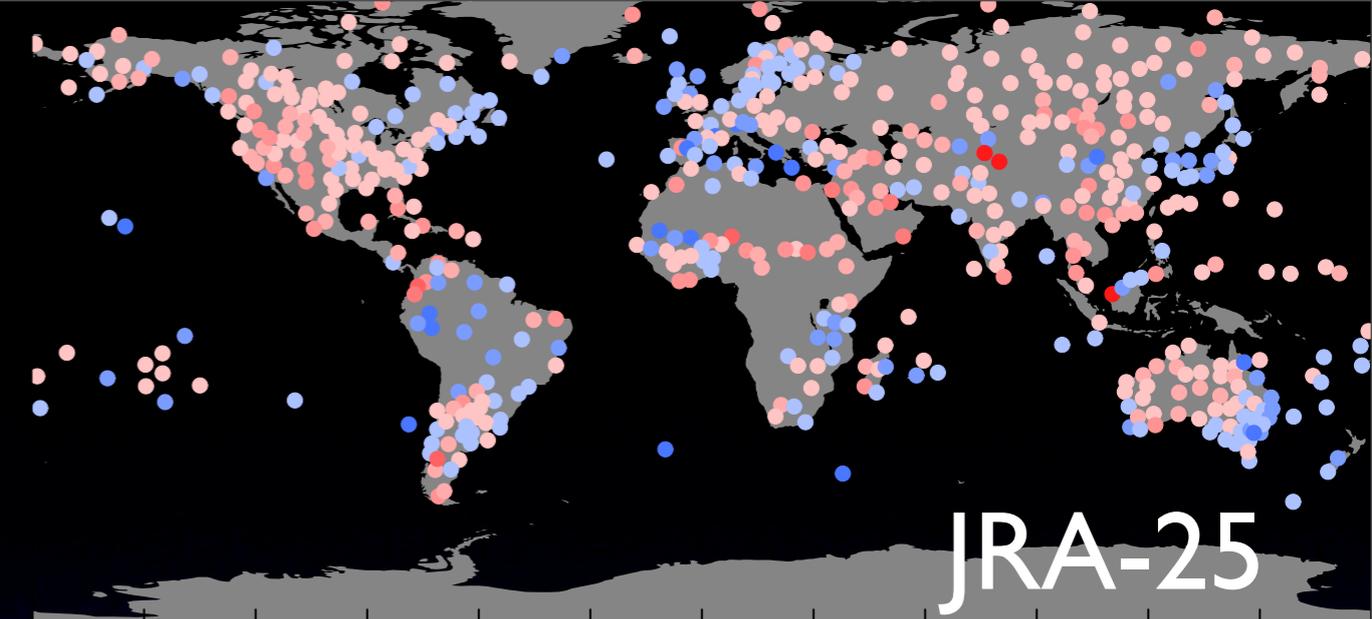
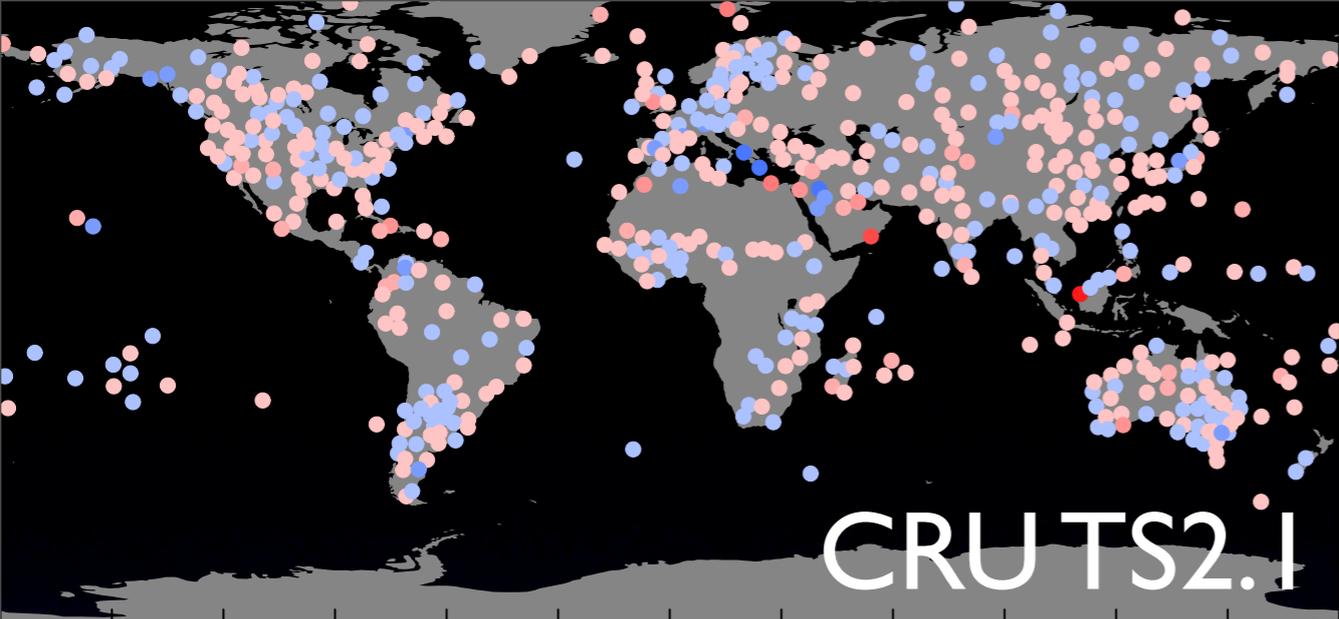


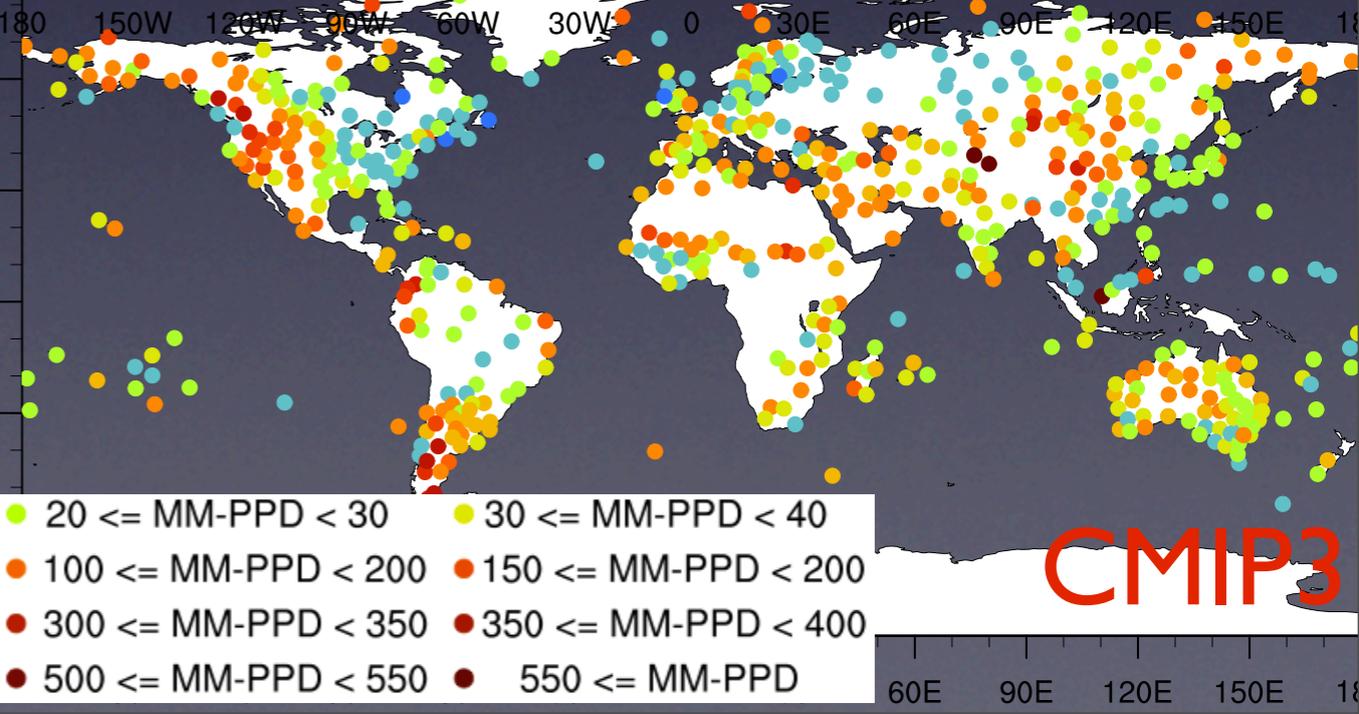
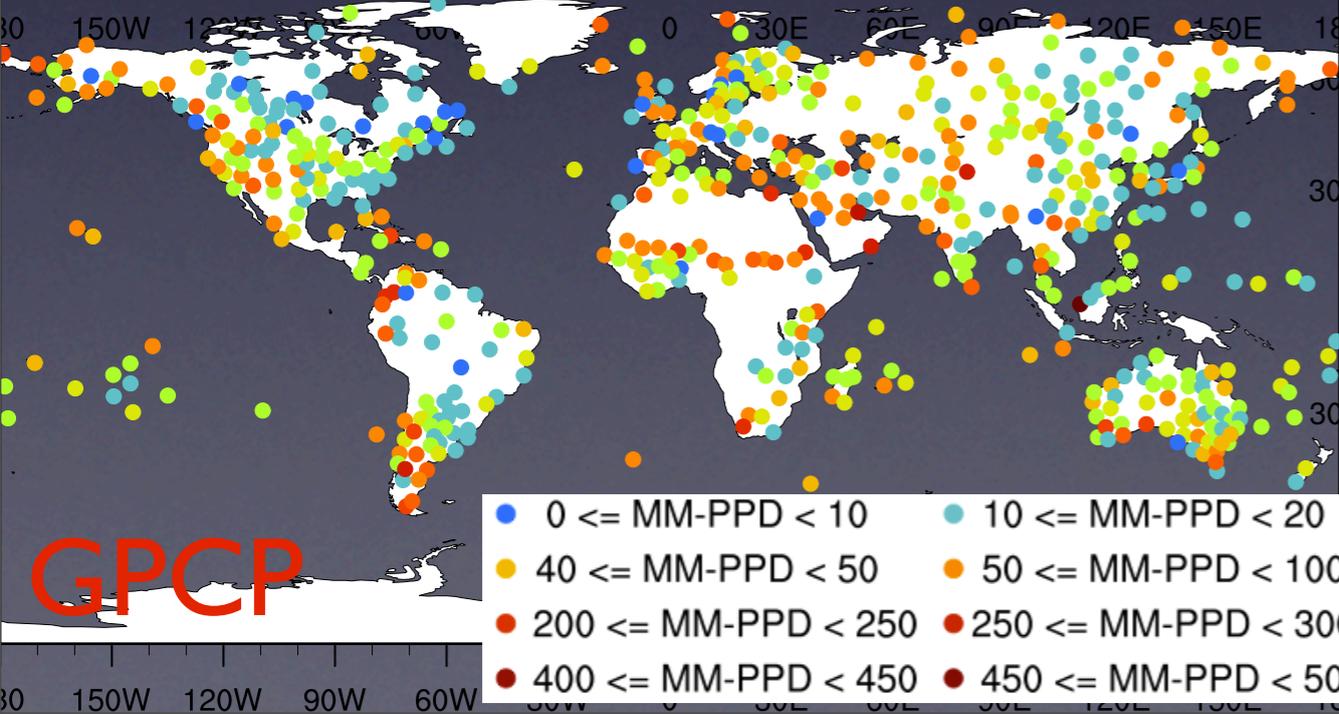
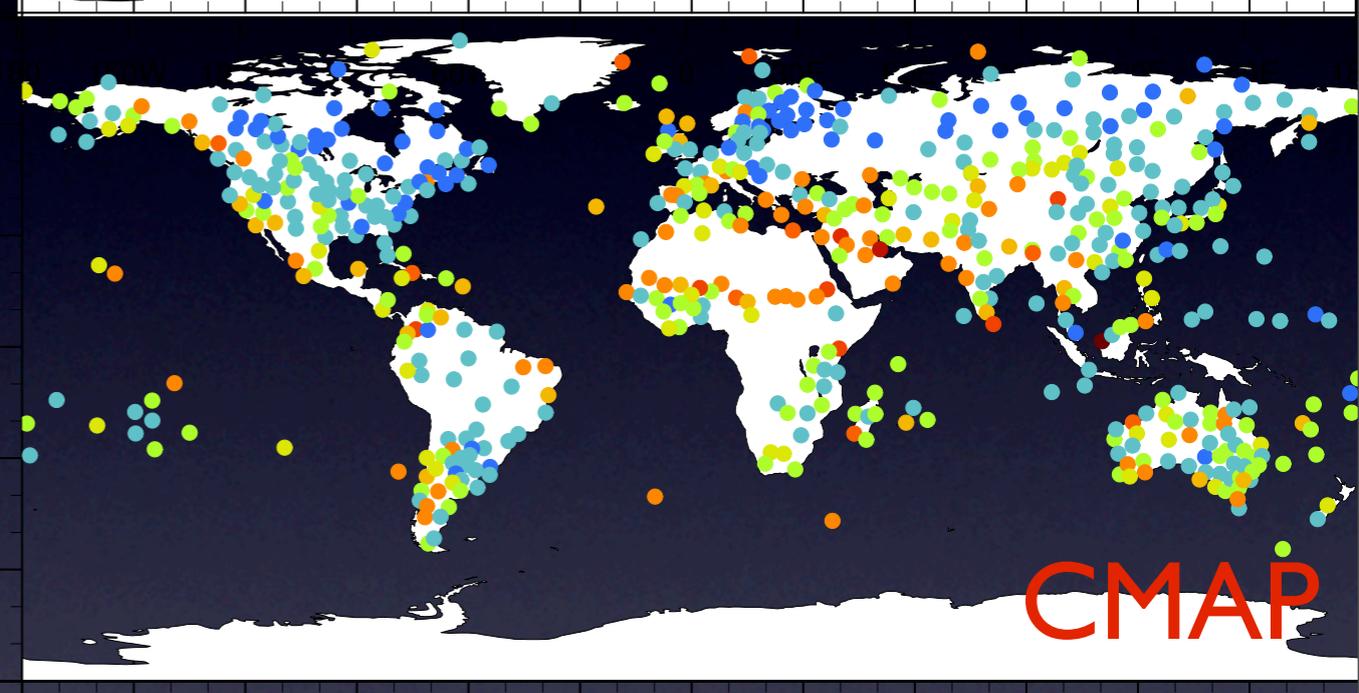
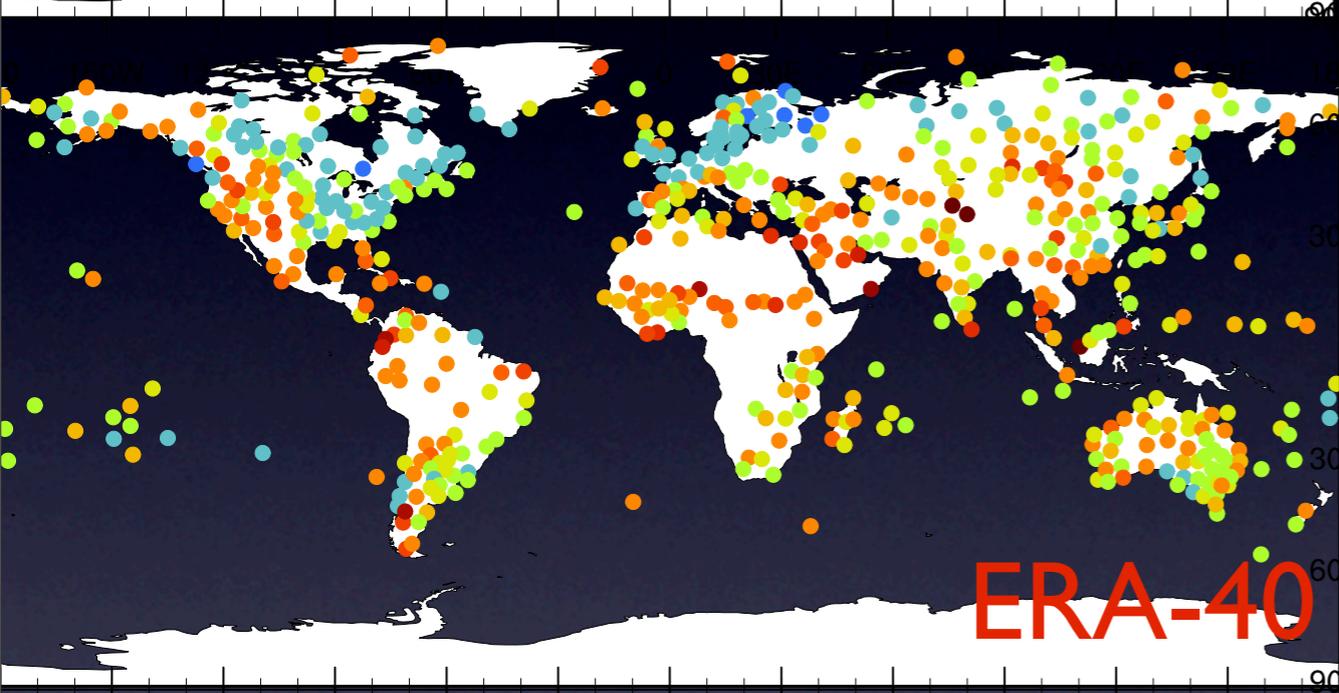
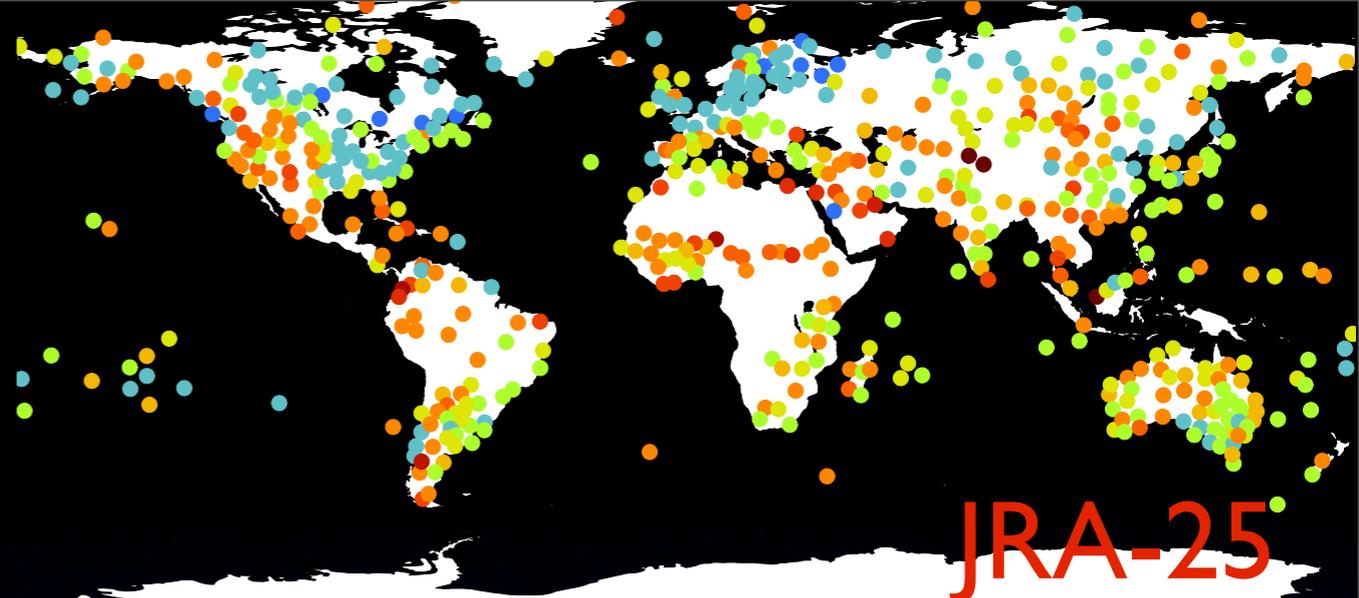
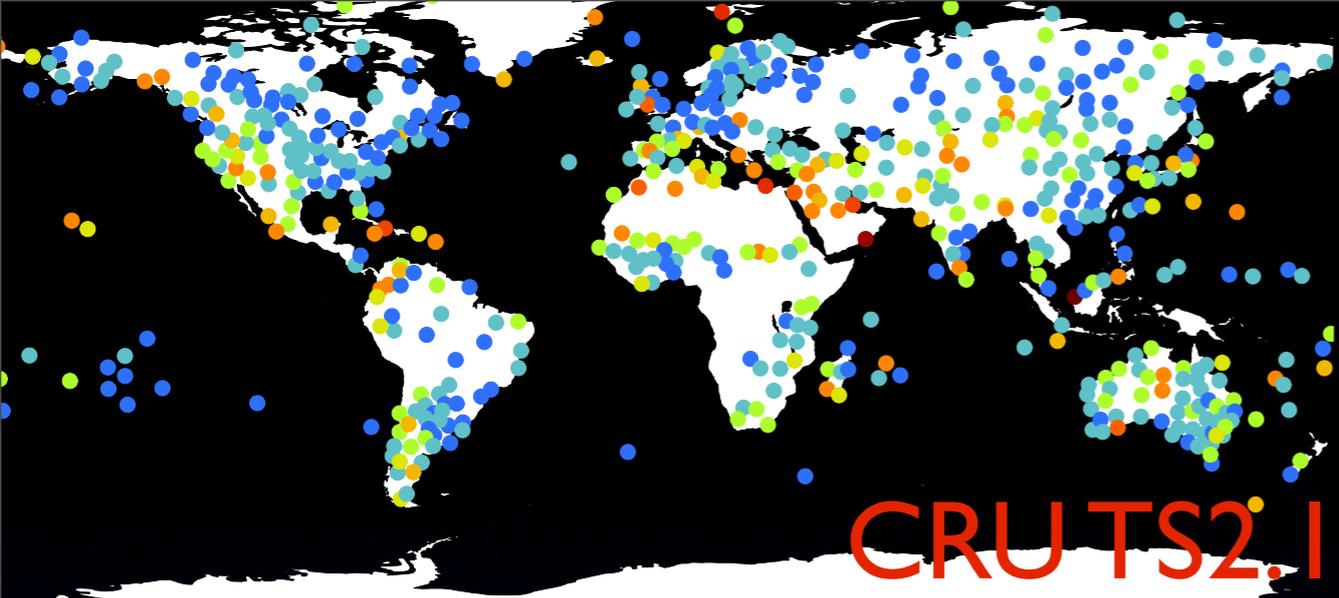
アジア

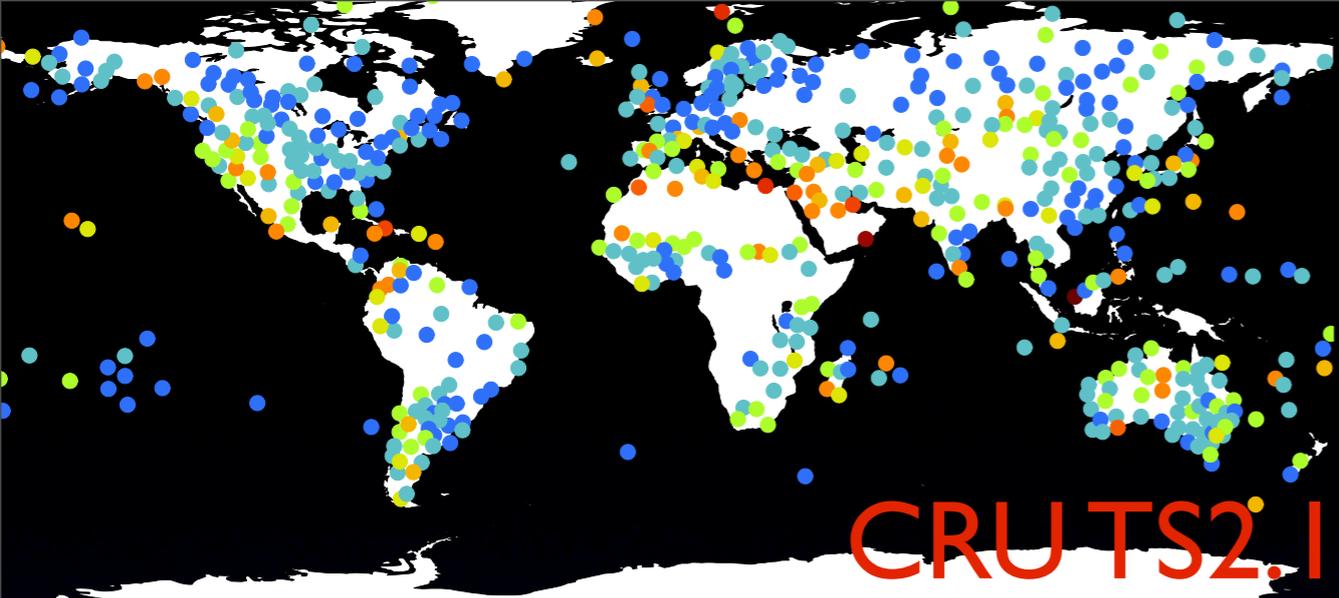
- ・ JRA-25 : 東南アジア一帯および中国南部でPD正が卓越. 降水の過大評価が他と比べ顕著.
- ・ JRA,-25 ERA-40の日本における降水量は過小評価
- ・ インド南端部における降水の過大評価



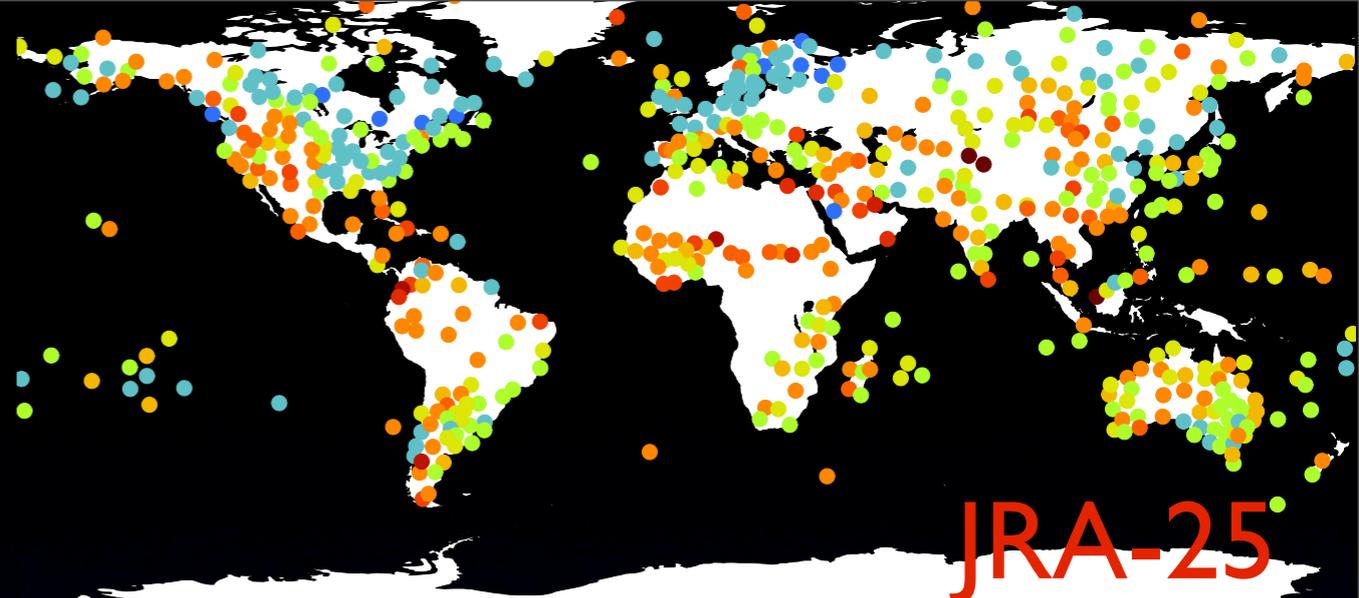
● PPD < -90	● -90 ≤ PPD < -60	● -60 ≤ PPD < -30	● -30 ≤ PPD < -0
● 0 ≤ PPD < 50	● 50 ≤ PPD < 100	● 100 ≤ PPD < 200	● 200 ≤ PPD < 300
● 300 ≤ PPD < 400	● 400 ≤ PPD < 500	● 500 ≤ PPD < 600	● 600 ≤ PPD



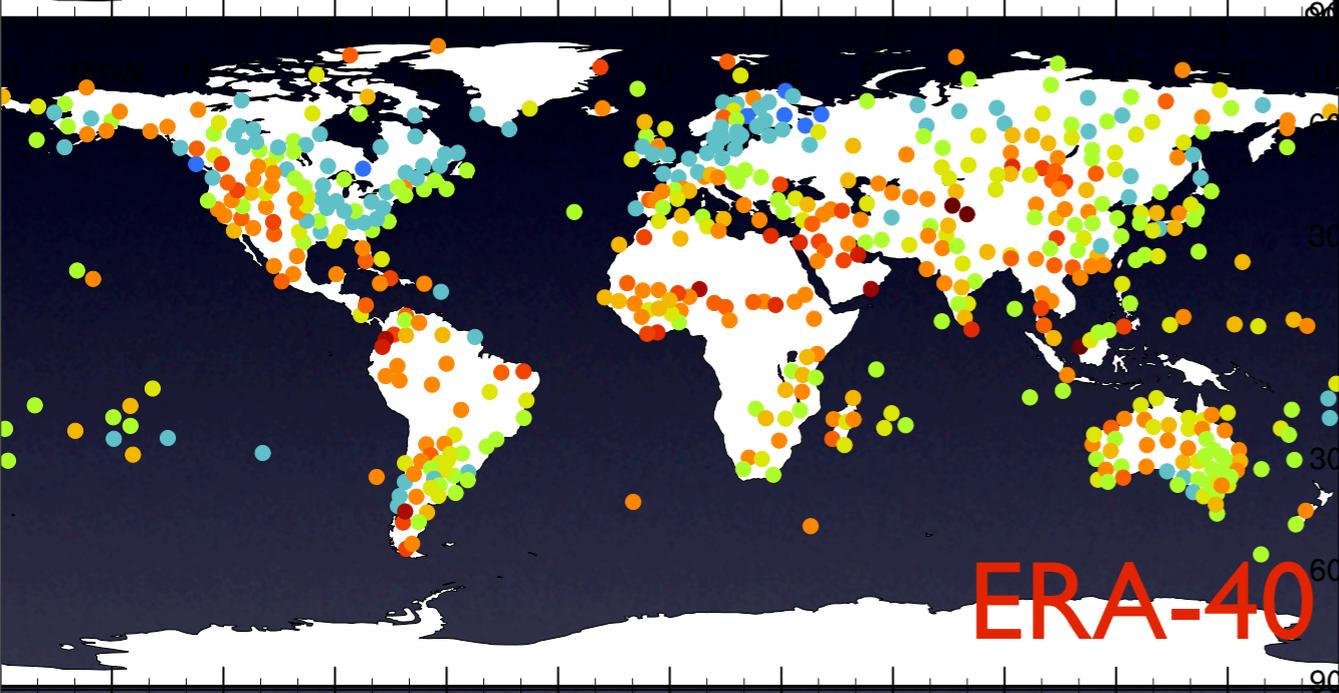




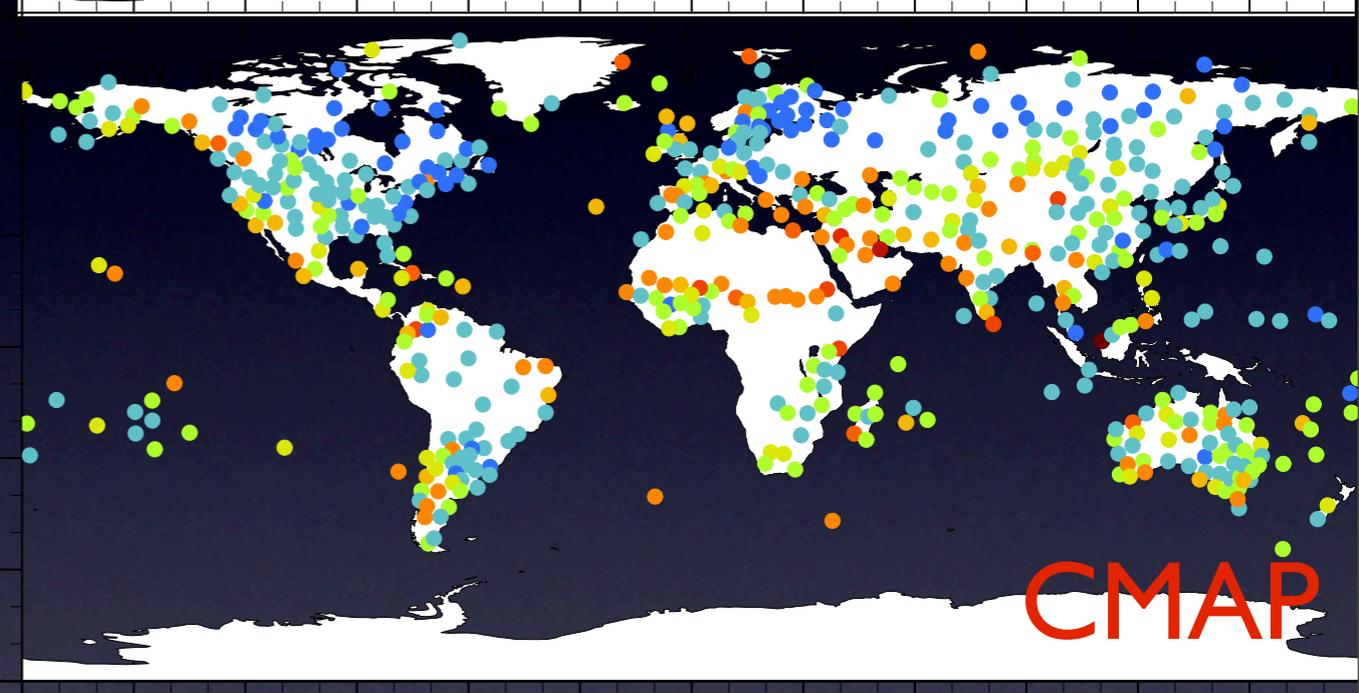
CRU TS2.1



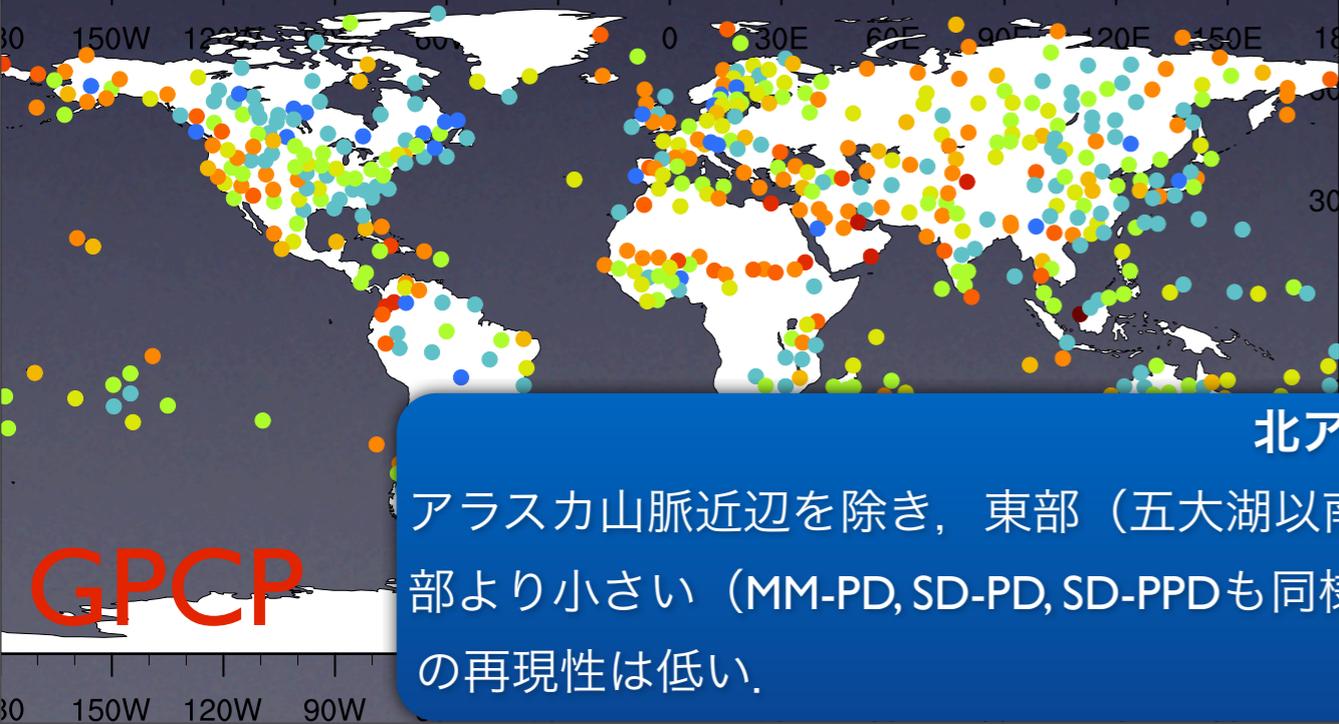
JRA-25



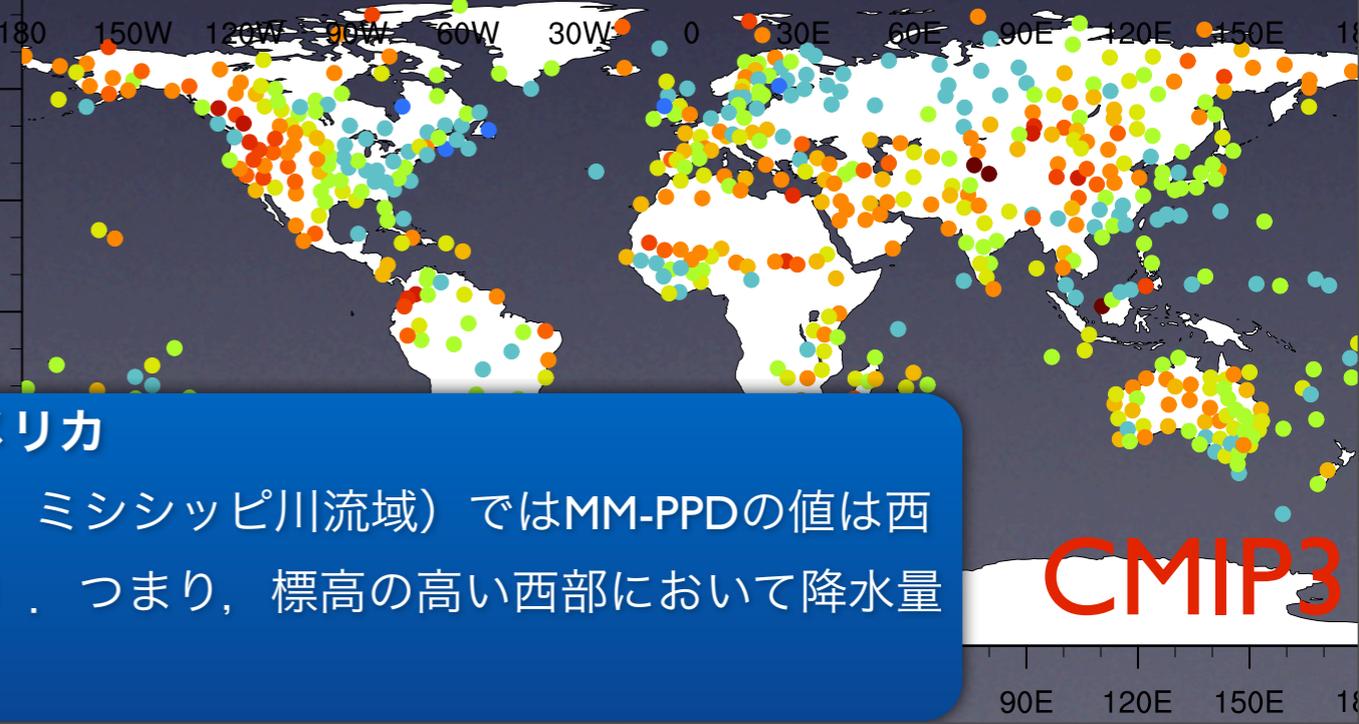
ERA-40



CMAP

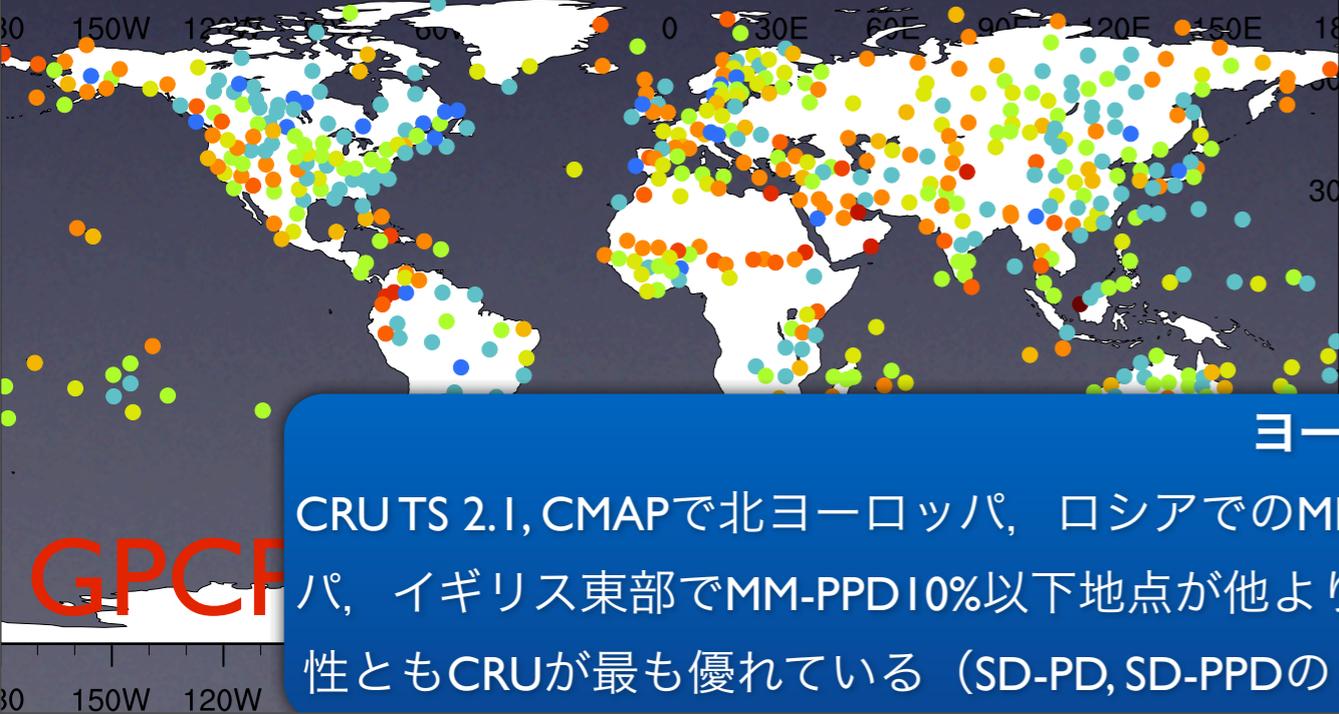
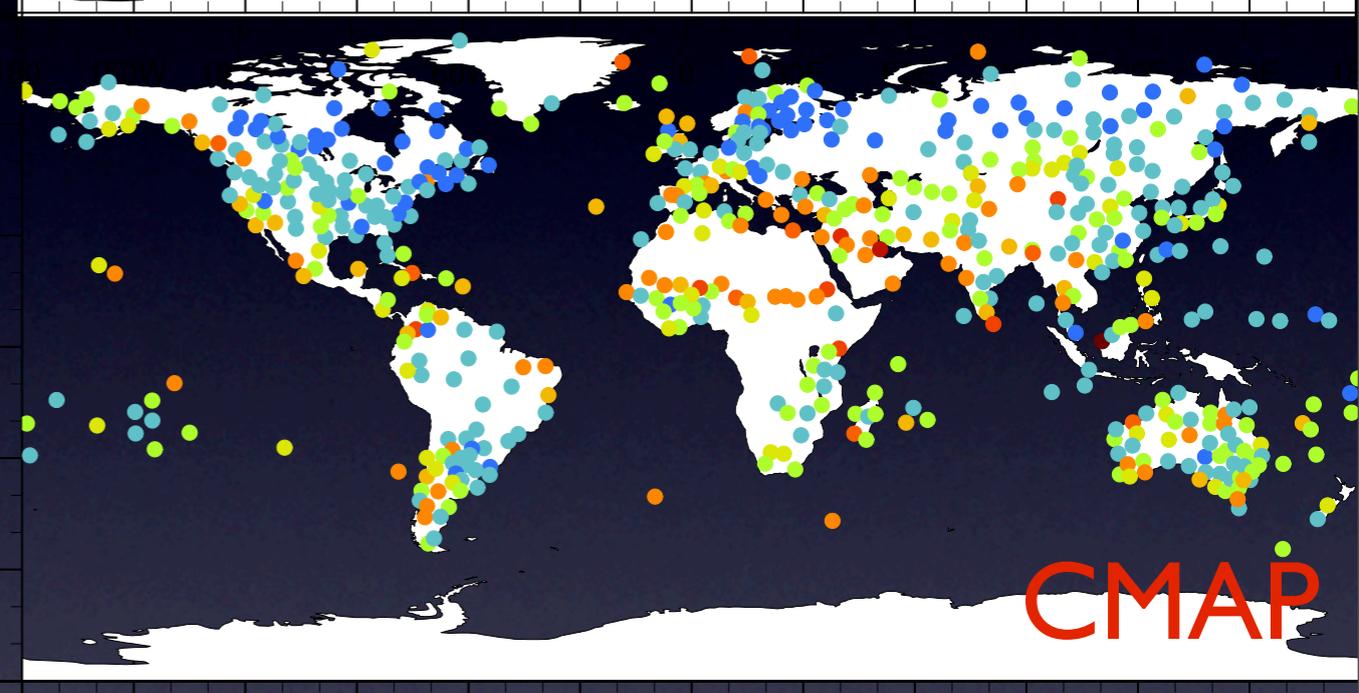
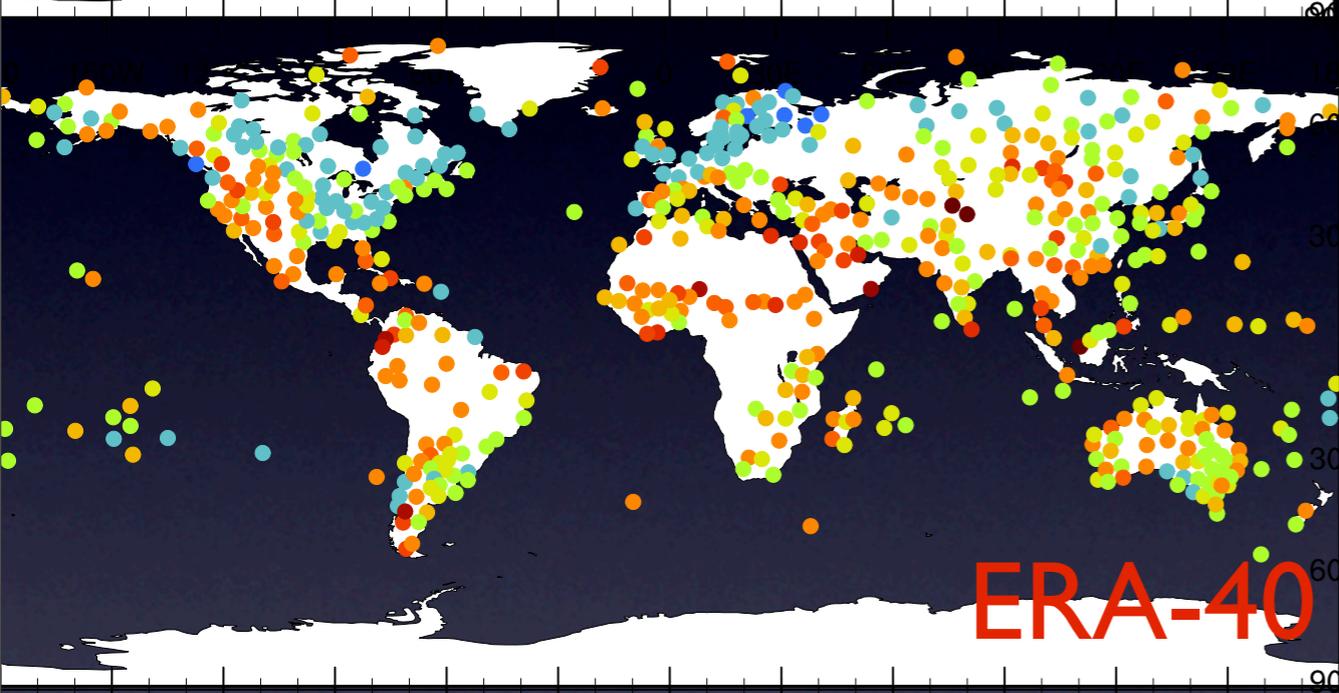
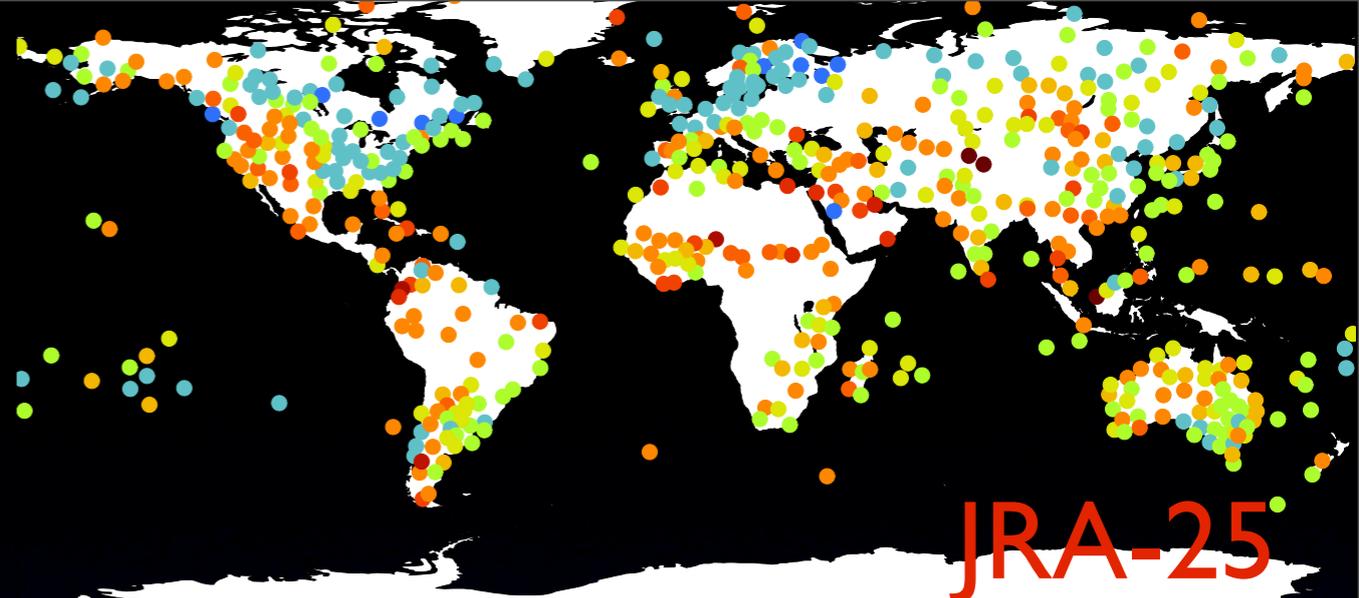
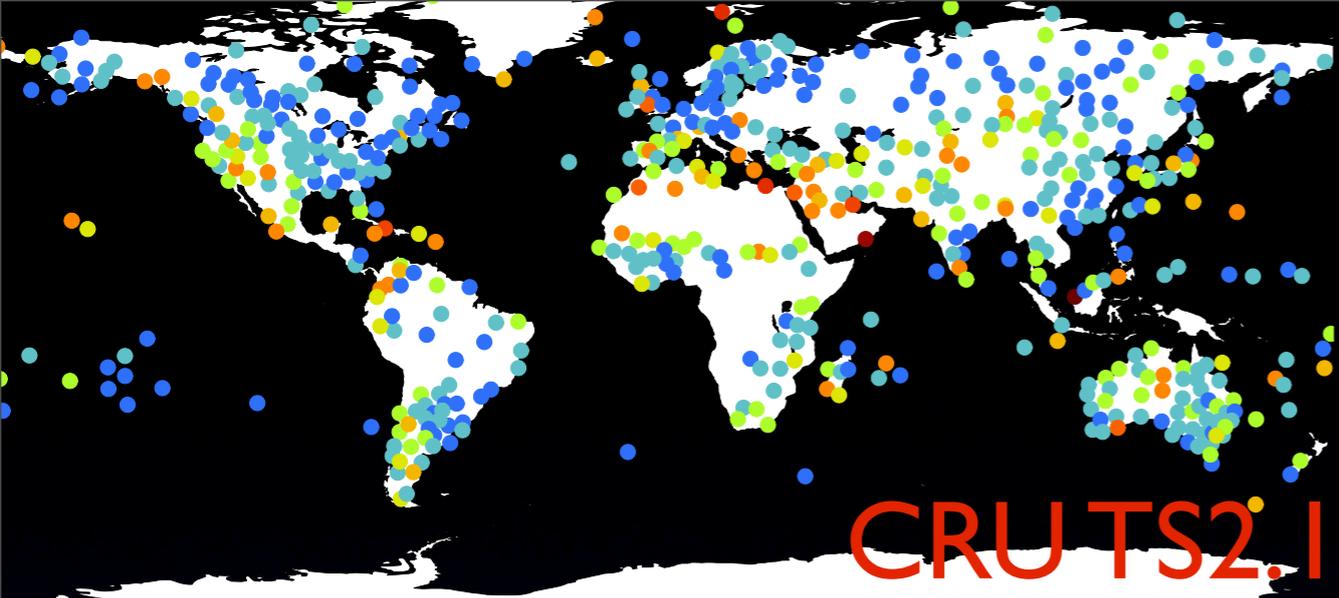


GPCP

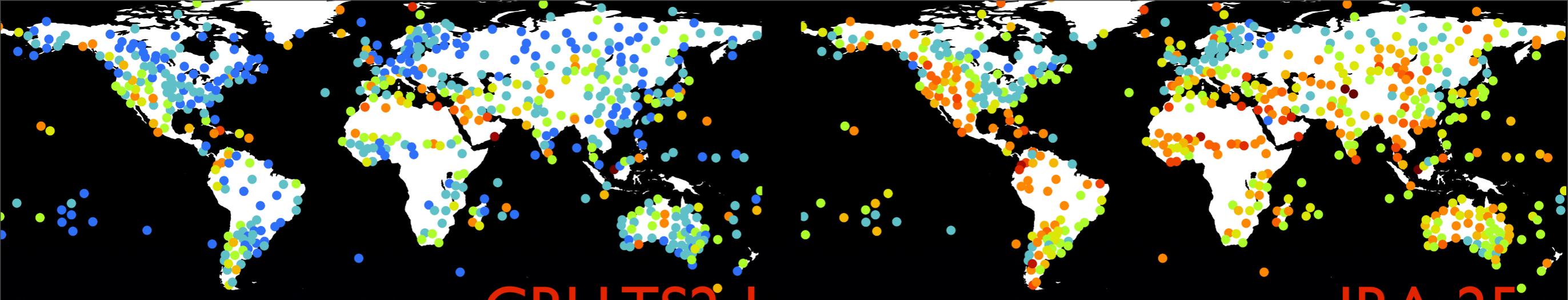


CMIP3

北アメリカ
 アラスカ山脈近辺を除き，東部（五大湖以南，ミシシッピ川流域）ではMM-PPDの値は西部より小さい（MM-PD, SD-PD, SD-PPDも同様）。つまり，標高の高い西部において降水量の再現性は低い。

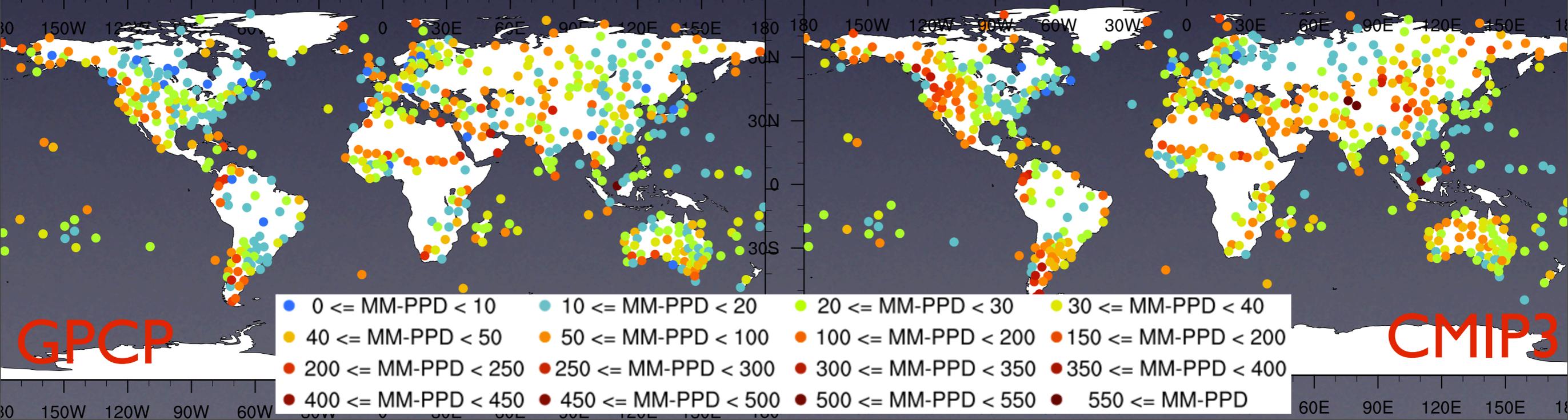
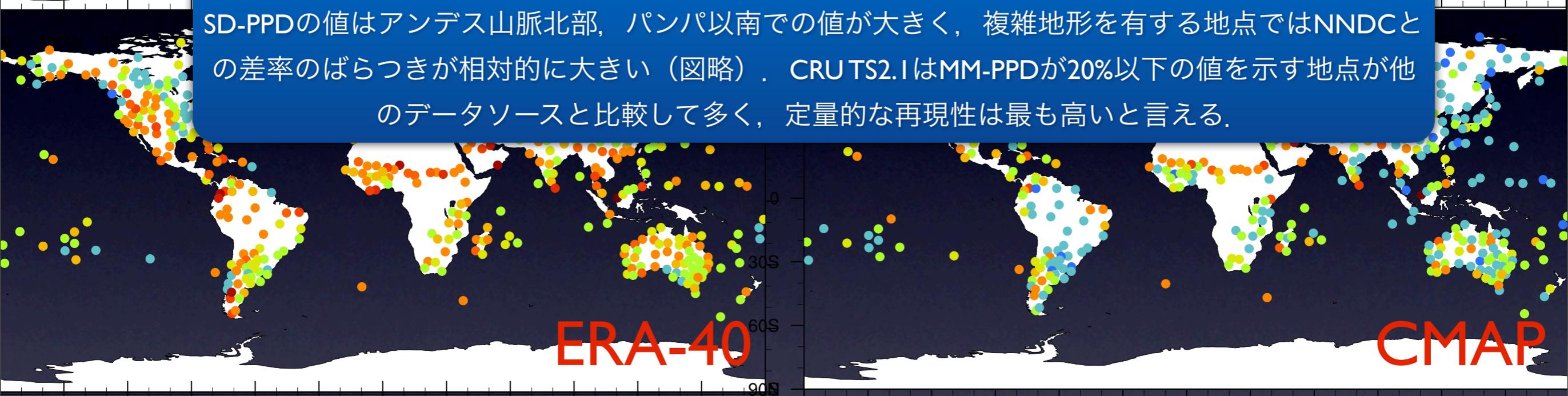


ヨーロッパ
 CRU TS 2.1, CMAPで北ヨーロッパ, ロシアでのMM-PPDが低い地点が多い. CRUでは, 東ヨーロッパ, イギリス東部でMM-PPD 10%以下地点が他より多い. NNDCとの偏差のばらつき, 定量的な再現性ともCRUが最も優れている (SD-PD, SD-PPDのレンジ幅はCRU TS2.1が最も小さい).

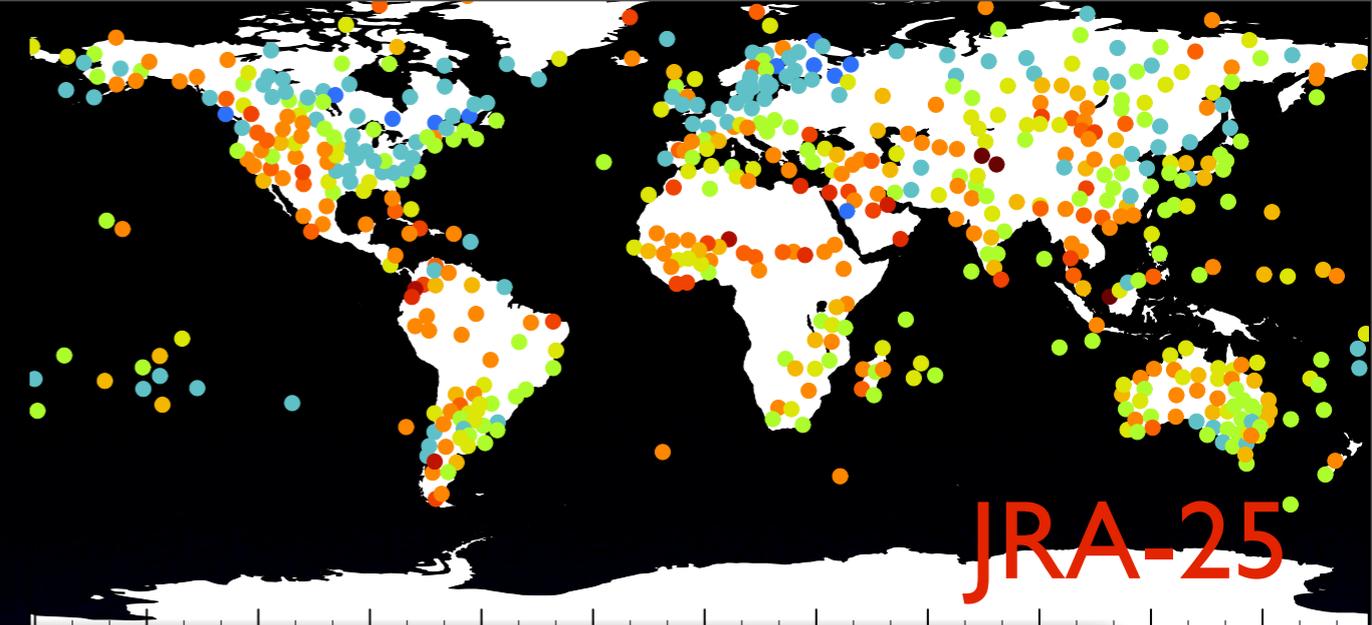
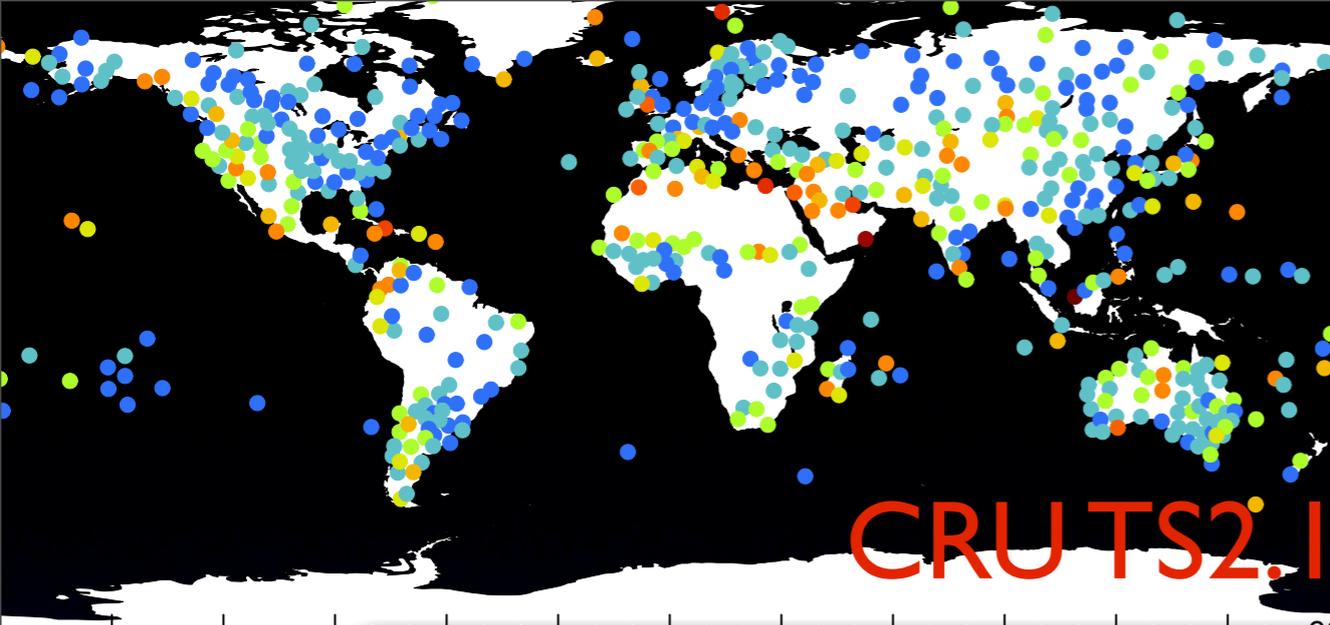


南アメリカ

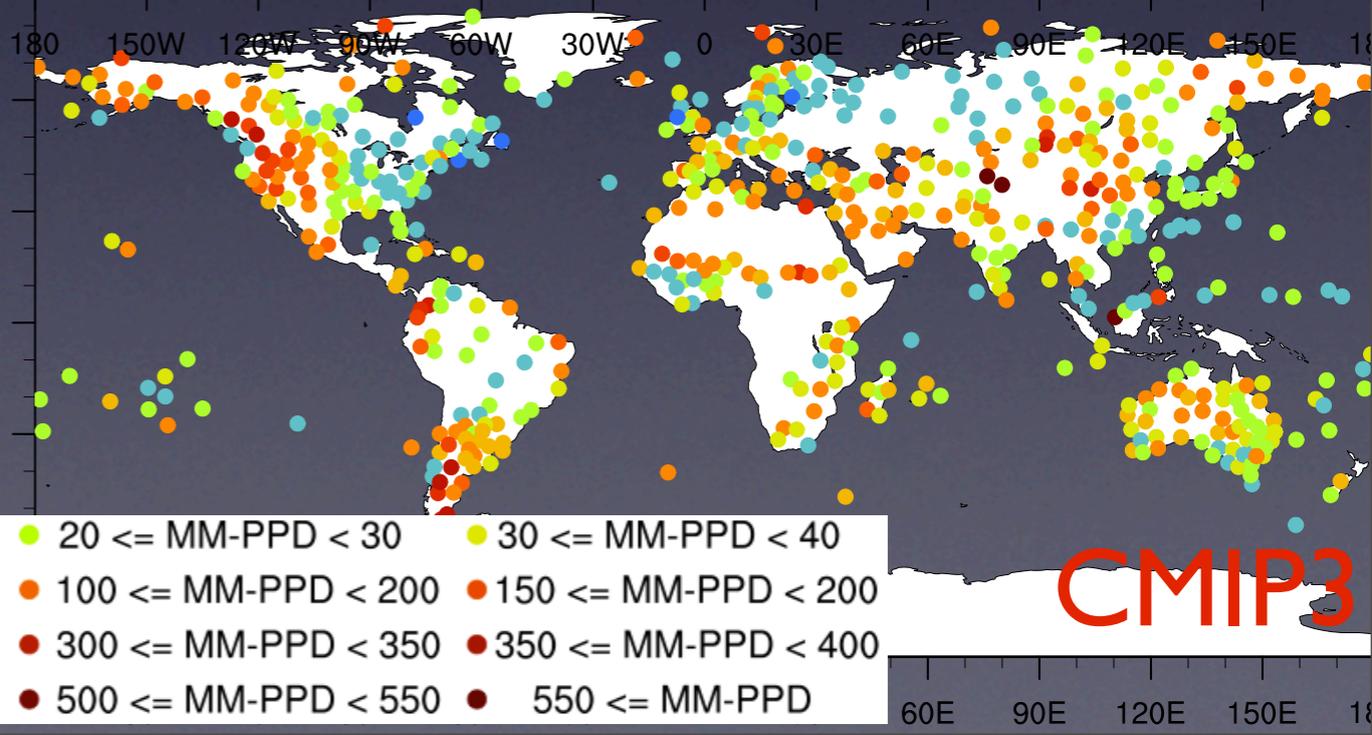
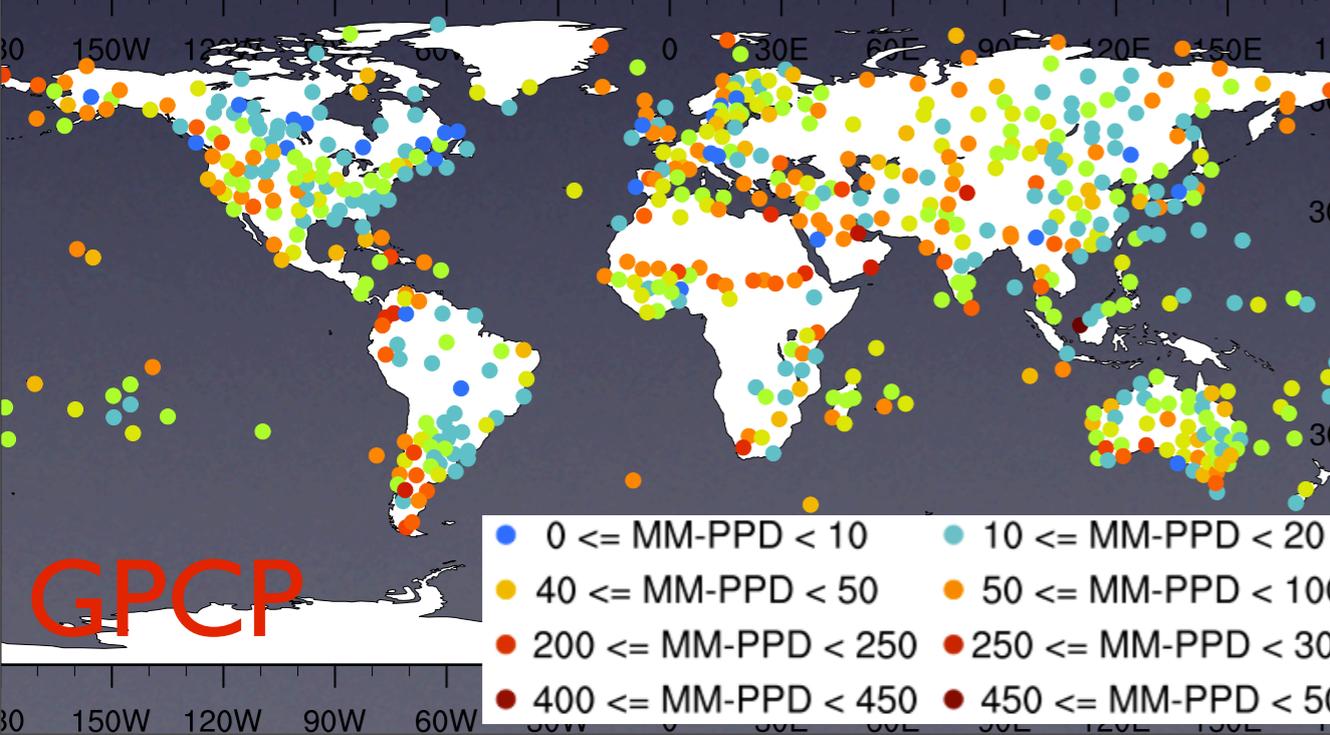
SD-PPDの値はアンデス山脈北部, パンパ以南での値が大きく, 複雑地形を有する地点ではNNDCとの差率のばらつきが相対的に大きい(図略). CRUTS2.1はMM-PPDが20%以下の値を示す地点が他のデータソースと比較して多く, 定量的な再現性は最も高いと言える.



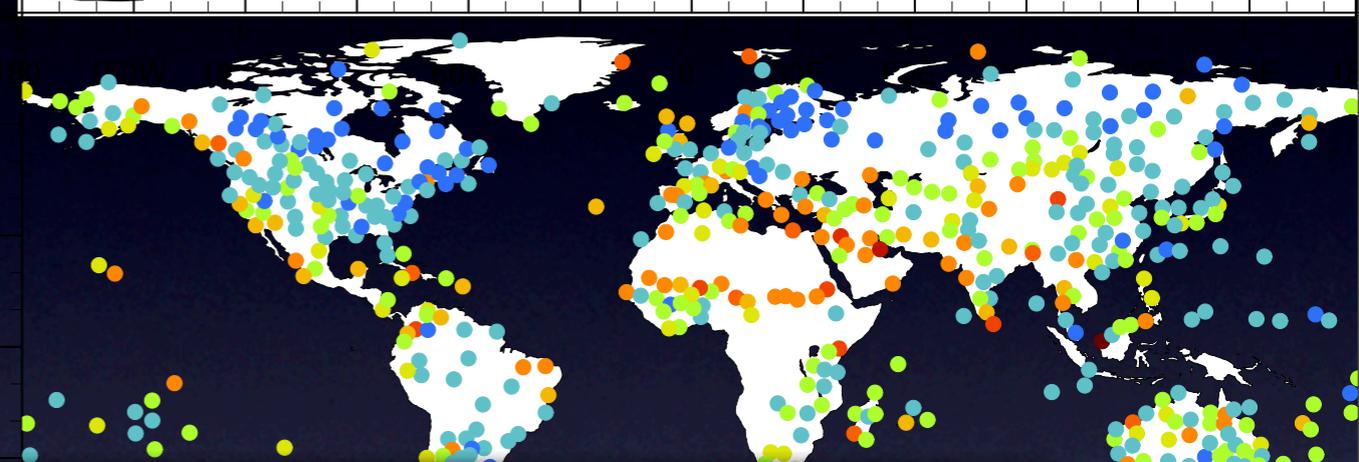
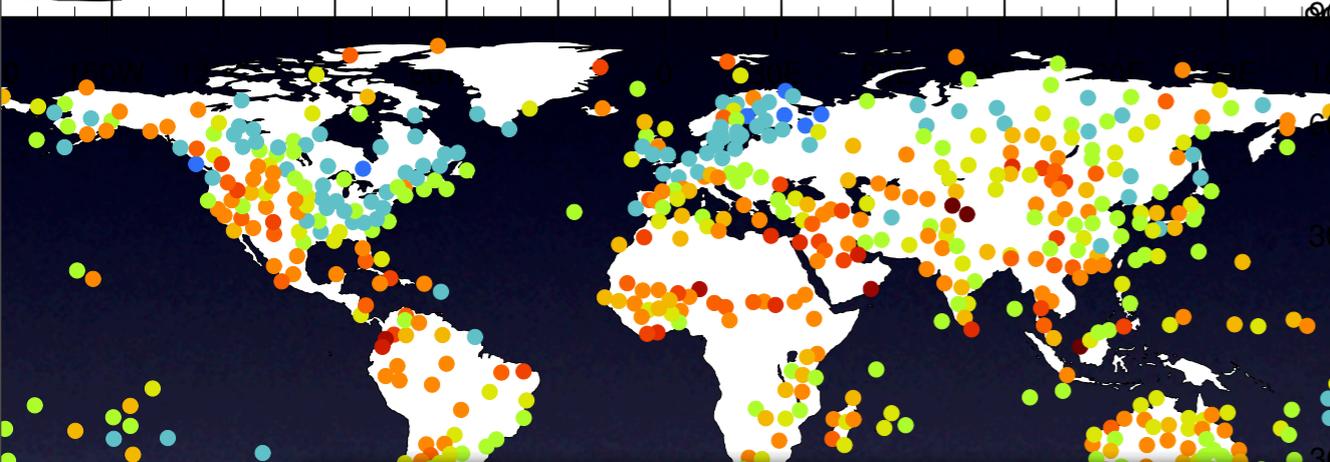
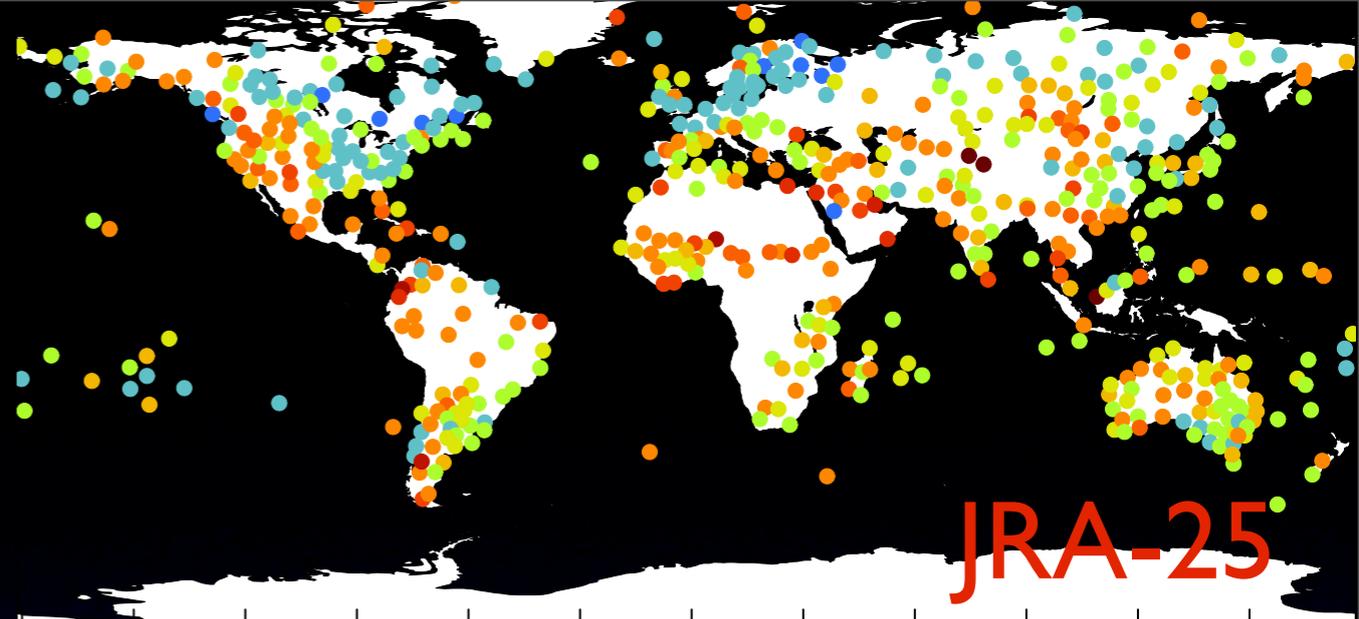
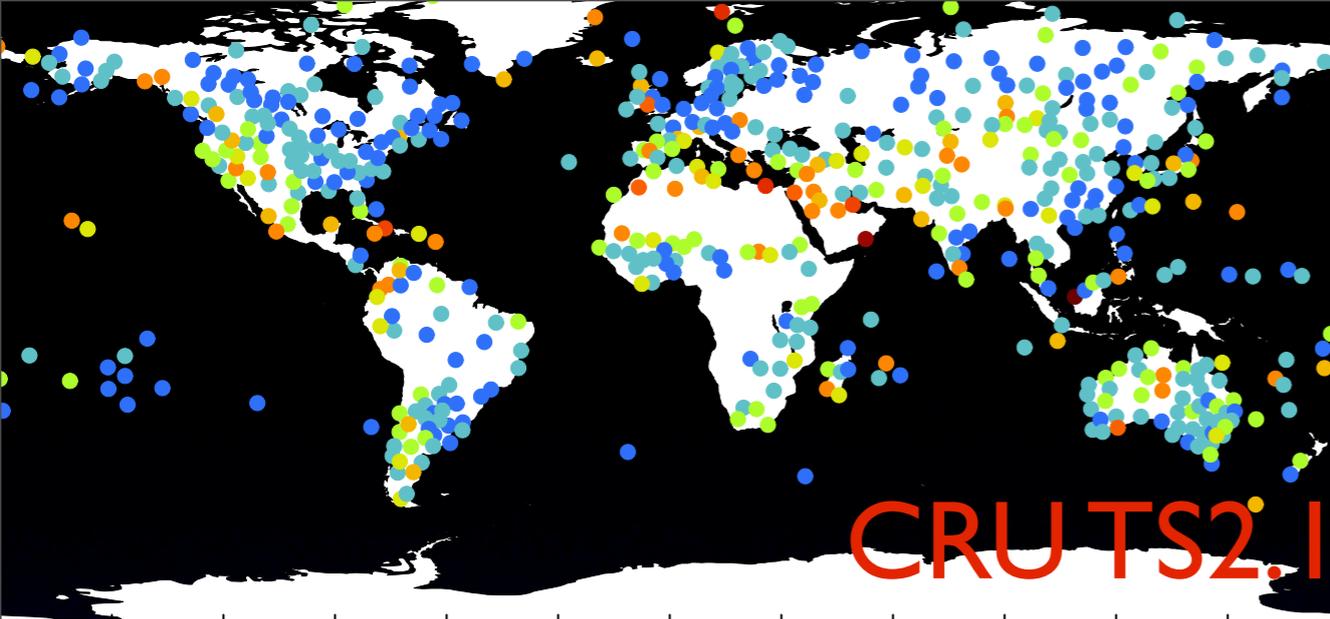
- | | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| ● 0 ≤ MM-PPD < 10 | ● 10 ≤ MM-PPD < 20 | ● 20 ≤ MM-PPD < 30 | ● 30 ≤ MM-PPD < 40 |
| ● 40 ≤ MM-PPD < 50 | ● 50 ≤ MM-PPD < 100 | ● 100 ≤ MM-PPD < 200 | ● 150 ≤ MM-PPD < 200 |
| ● 200 ≤ MM-PPD < 250 | ● 250 ≤ MM-PPD < 300 | ● 300 ≤ MM-PPD < 350 | ● 350 ≤ MM-PPD < 400 |
| ● 400 ≤ MM-PPD < 450 | ● 450 ≤ MM-PPD < 500 | ● 500 ≤ MM-PPD < 550 | ● 550 ≤ MM-PPD |



オセアニア
 SD-PD, SD-PPD, MM-PD, MM-PPDのいずれにおいても, CRU TS2.1, CMAPと比較してJRA-25, ERA-40, GPCPの値は大きく, データの一貫性, 再現性はCRU TS2.1, CMAPが優れている.

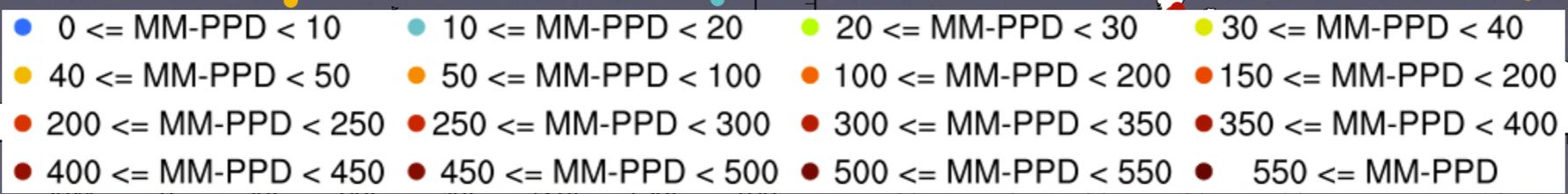
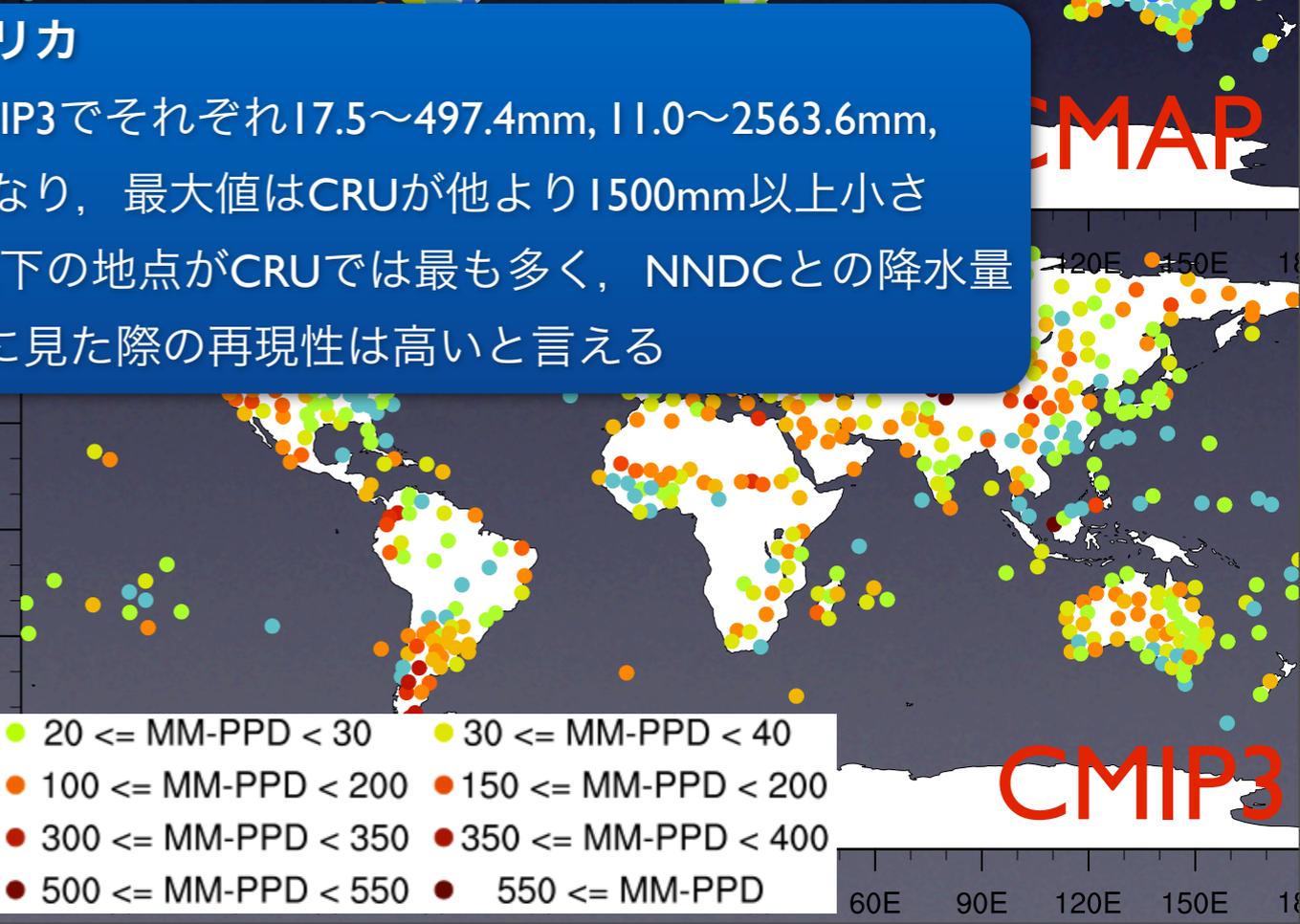
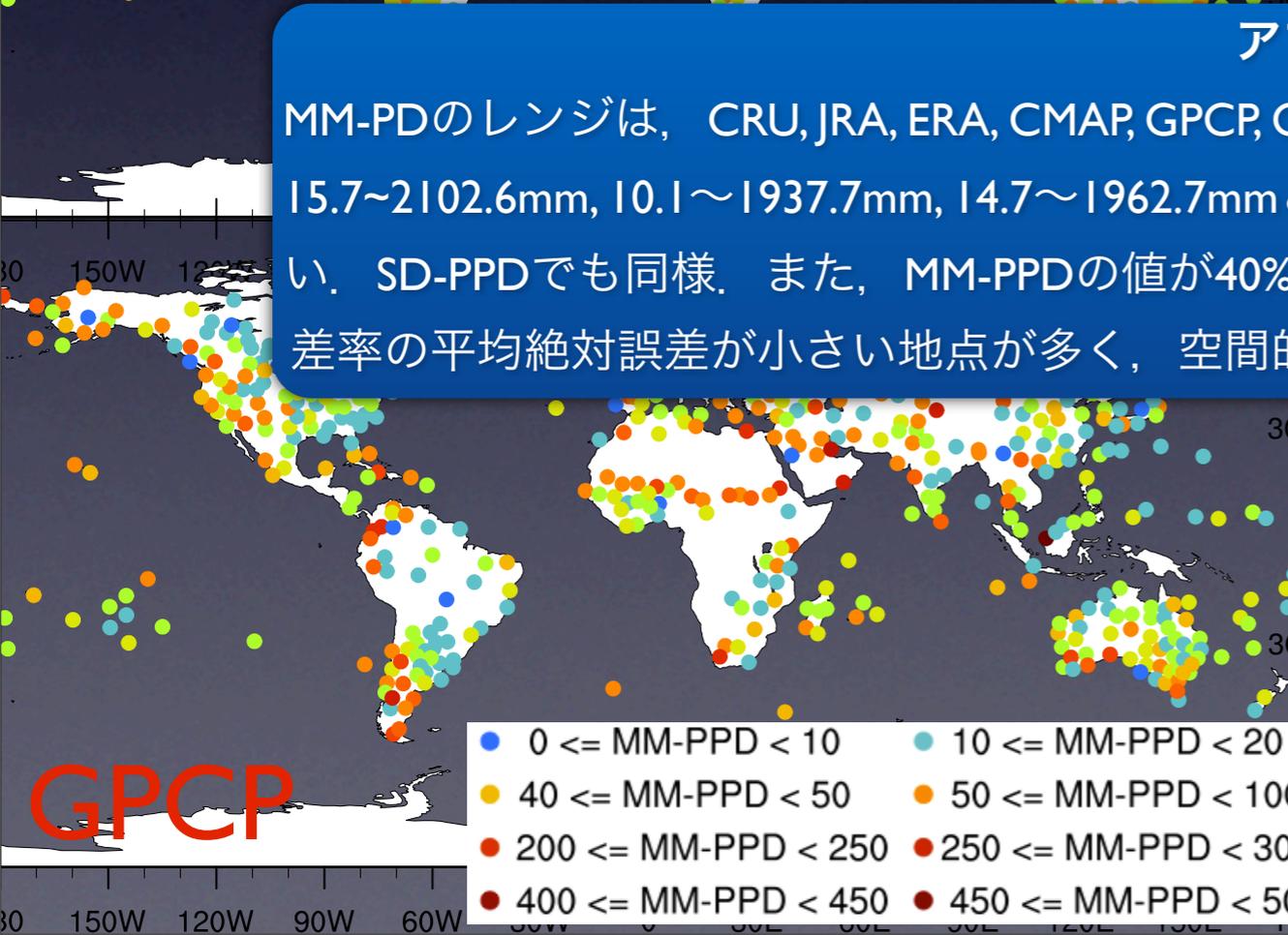


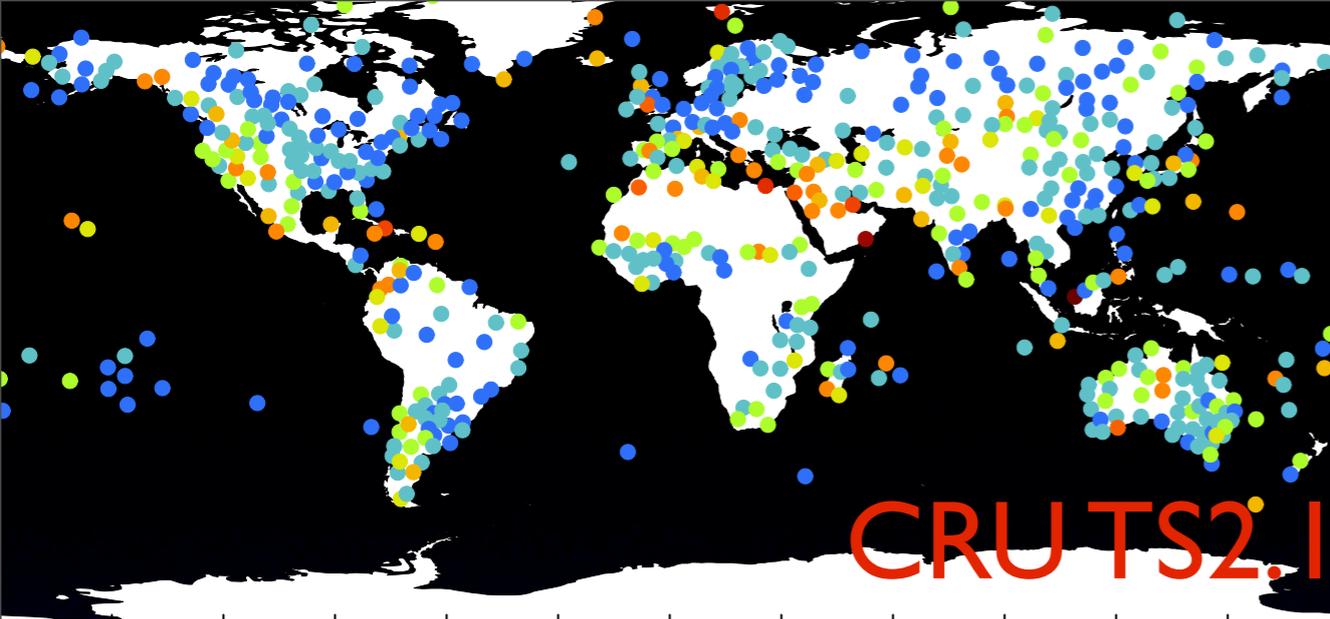
- 0 ≤ MM-PPD < 10
- 10 ≤ MM-PPD < 20
- 20 ≤ MM-PPD < 30
- 30 ≤ MM-PPD < 40
- 40 ≤ MM-PPD < 50
- 50 ≤ MM-PPD < 100
- 100 ≤ MM-PPD < 200
- 150 ≤ MM-PPD < 200
- 200 ≤ MM-PPD < 250
- 250 ≤ MM-PPD < 300
- 300 ≤ MM-PPD < 350
- 350 ≤ MM-PPD < 400
- 400 ≤ MM-PPD < 450
- 450 ≤ MM-PPD < 500
- 500 ≤ MM-PPD < 550
- 550 ≤ MM-PPD



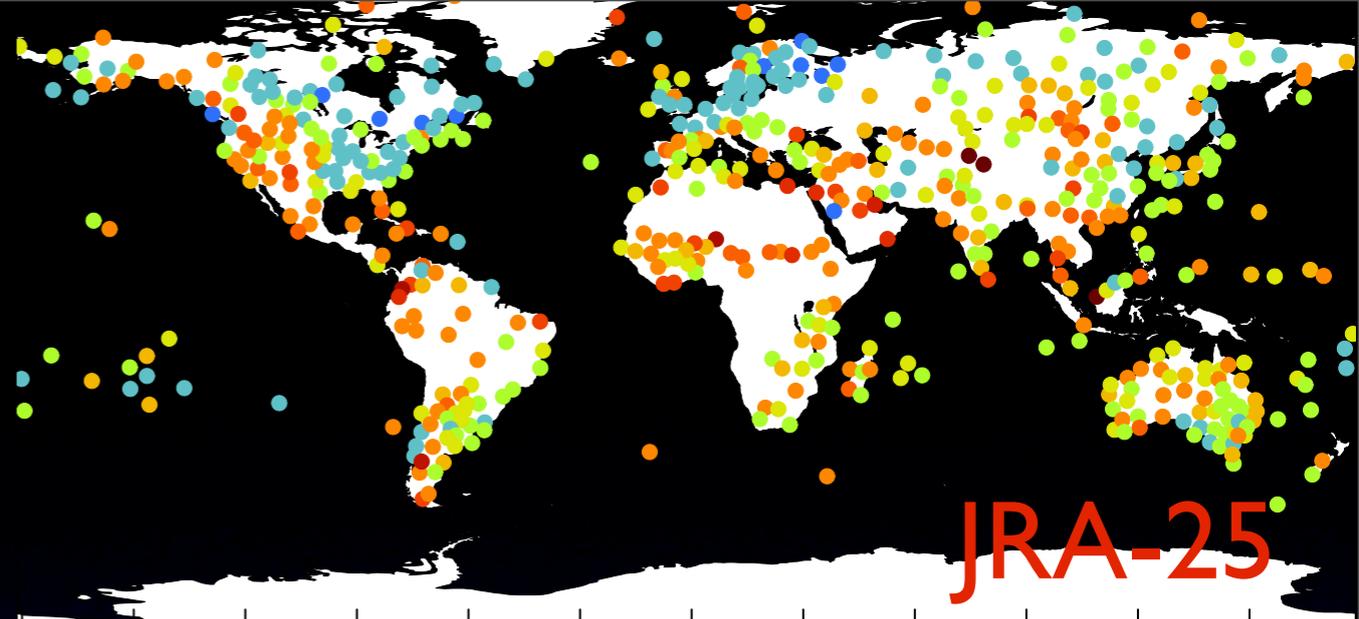
アフリカ

MM-PPDのレンジは、 CRU, JRA, ERA, CMAP, GPCP, CMIP3でそれぞれ17.5~497.4mm, 11.0~2563.6mm, 15.7~2102.6mm, 10.1~1937.7mm, 14.7~1962.7mmとなり、 最大値はCRUが他より1500mm以上小さい。 SD-PPDでも同様。 また、 MM-PPDの値が40%以下の地点がCRUでは最も多く、 NNDCとの降水量差率の平均絶対誤差が小さい地点が多く、 空間的に見た際の再現性は高いと言える





CRU TS2.1

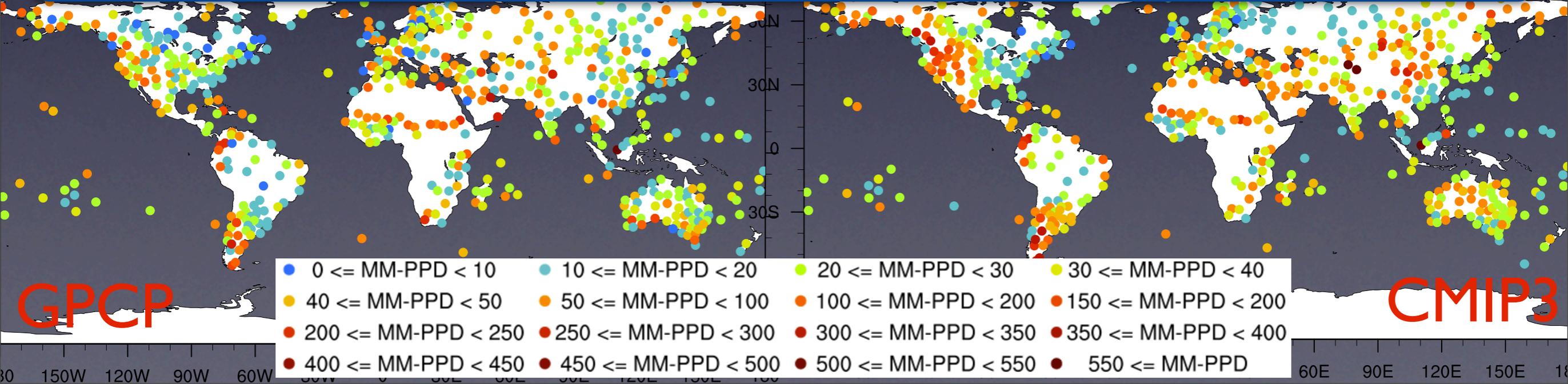


JRA-25



アジア

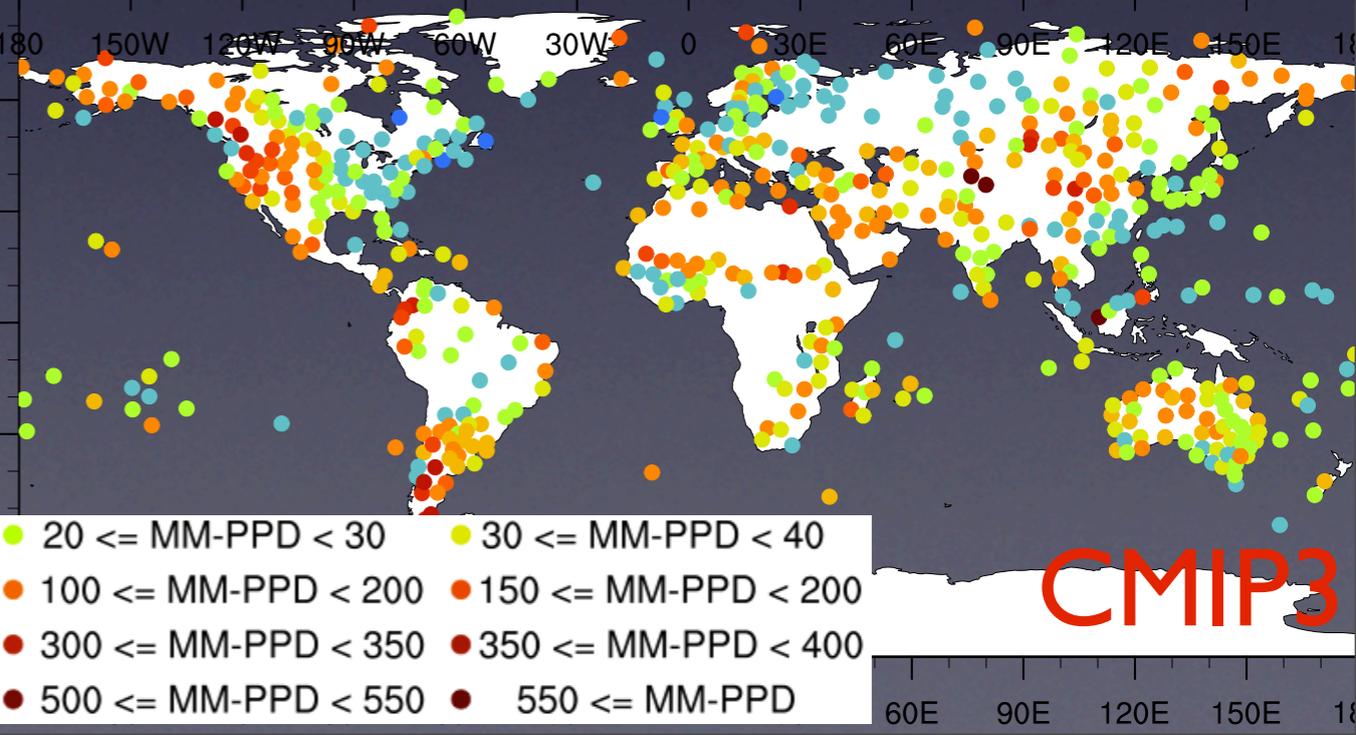
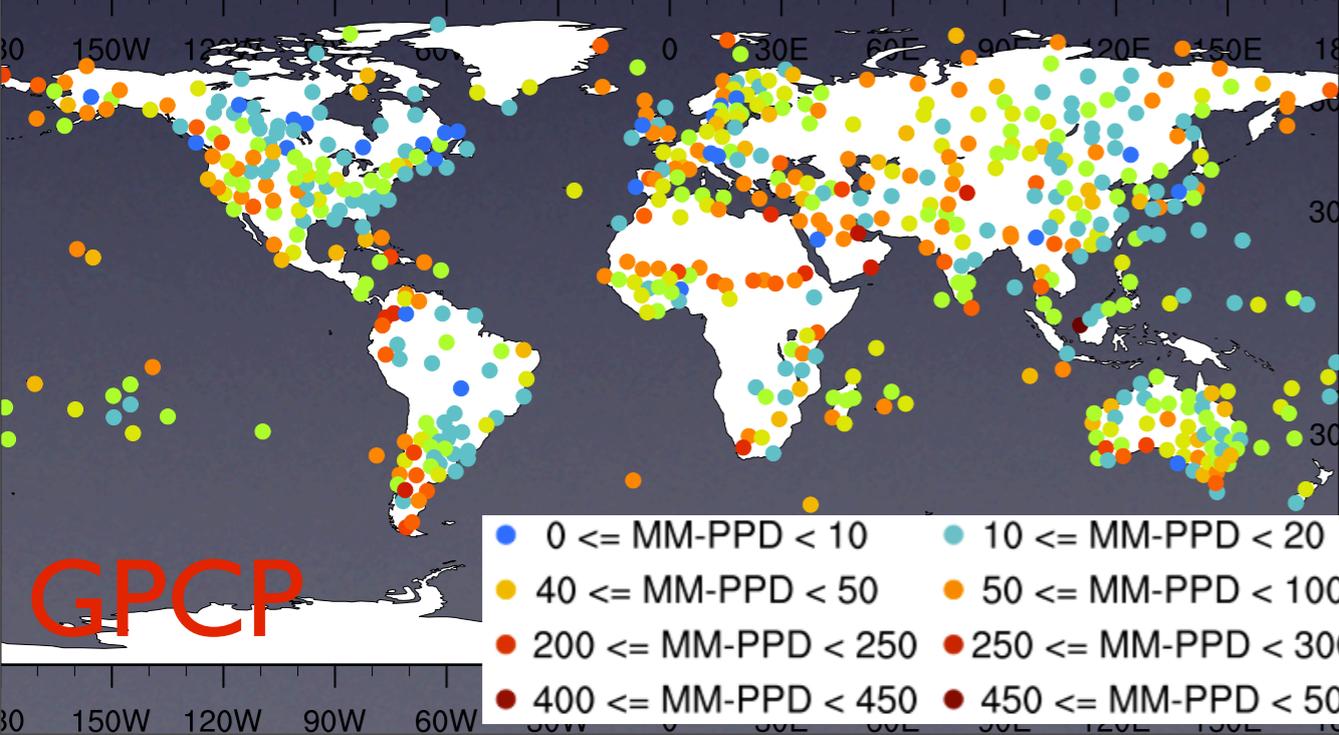
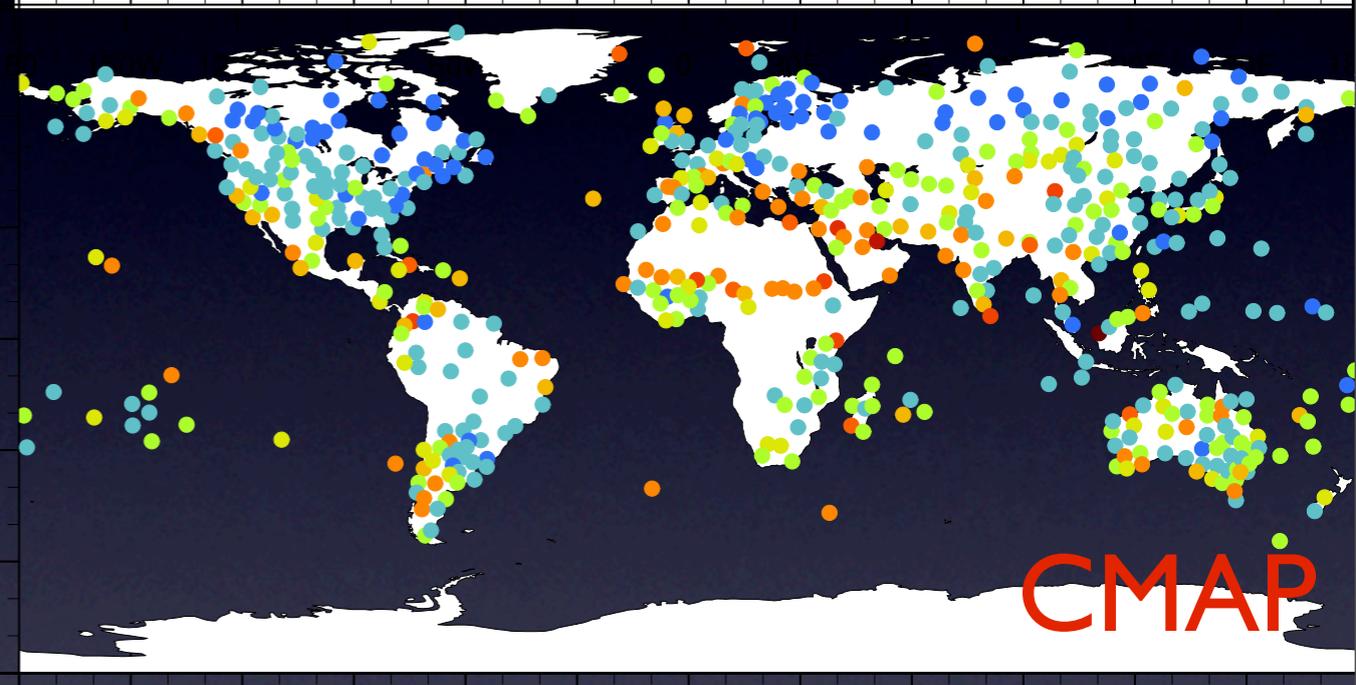
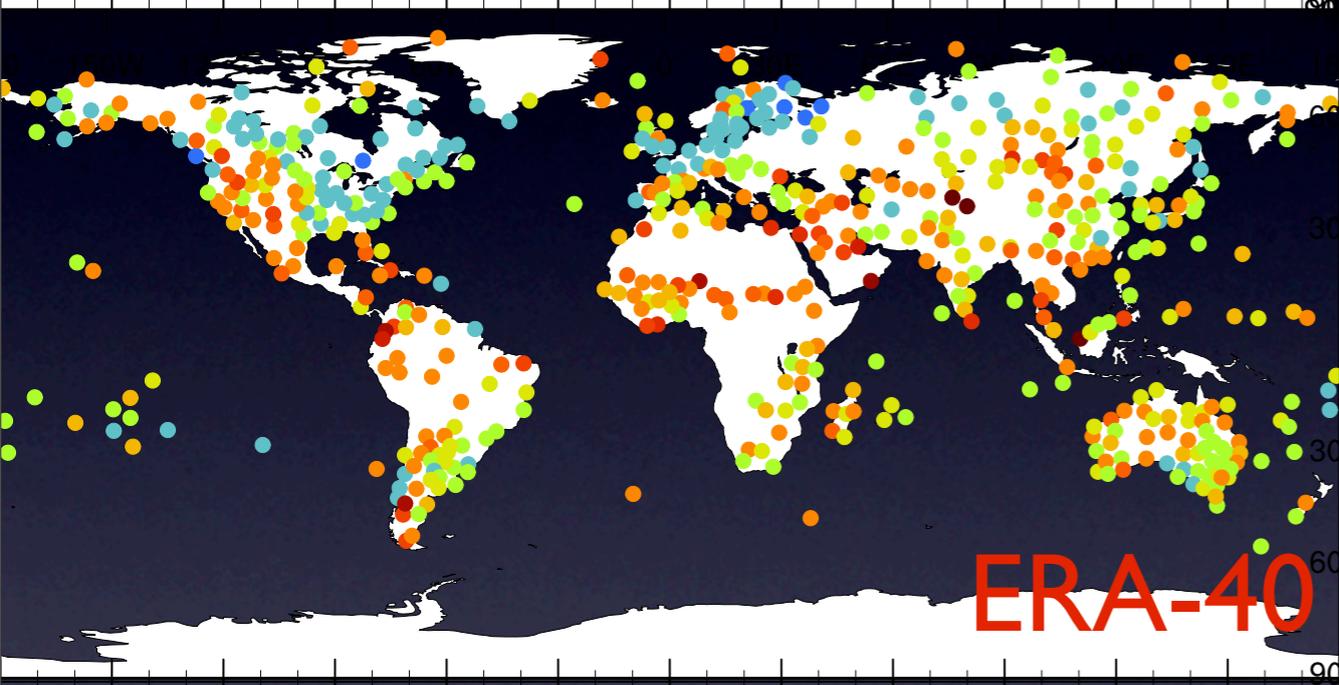
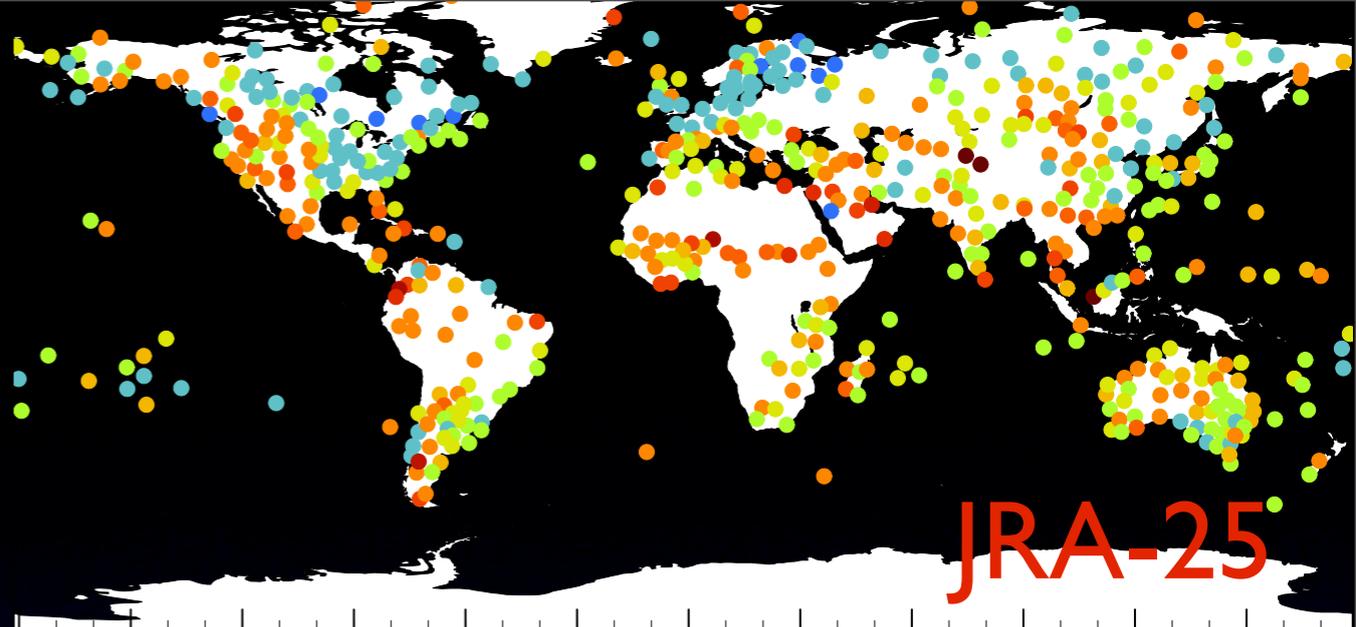
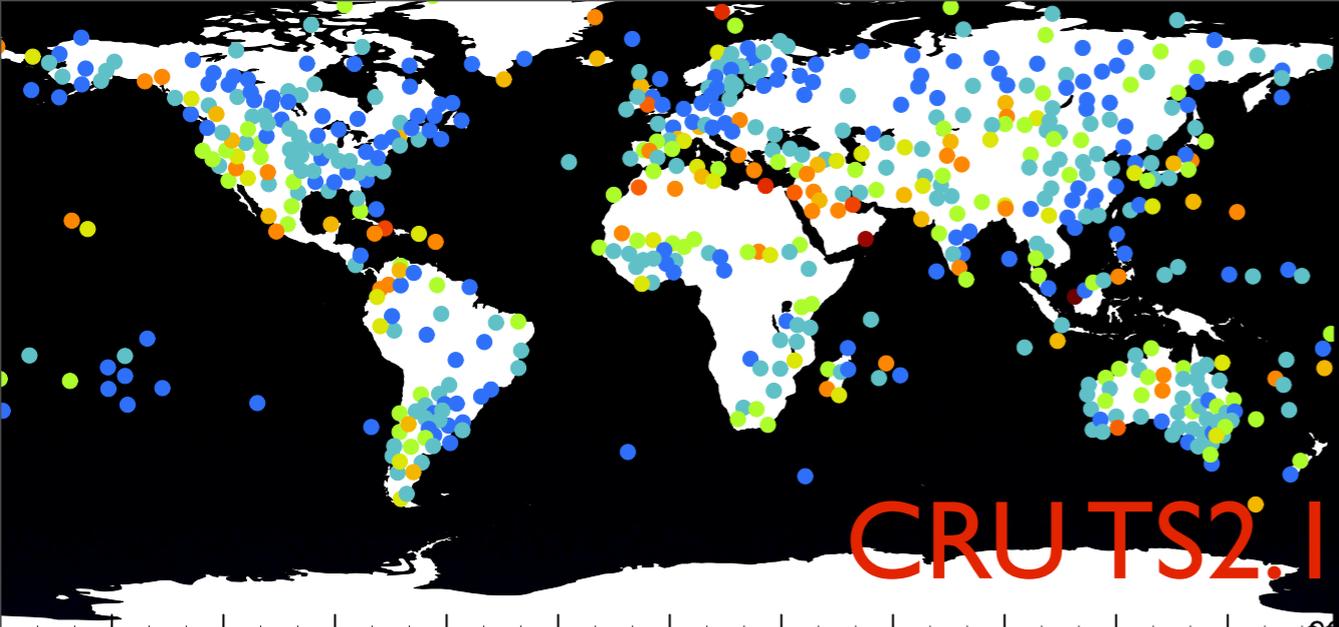
MM-PPDの空間分布は、SD-PD,SD-PPDと同じであり、マレー半島、カリマンタン島、カロリン諸島において相対的に大きい。アジア全域では、MM-PPDはJRA, ERA, CMIP3で暖色系つまりNNDCとの差率の絶対誤差が大きい地点が多い。CRUはMM-PPDの値が10%未満の地点が最も多く、特に中国沿岸部での再現性が他より明瞭に優れている。

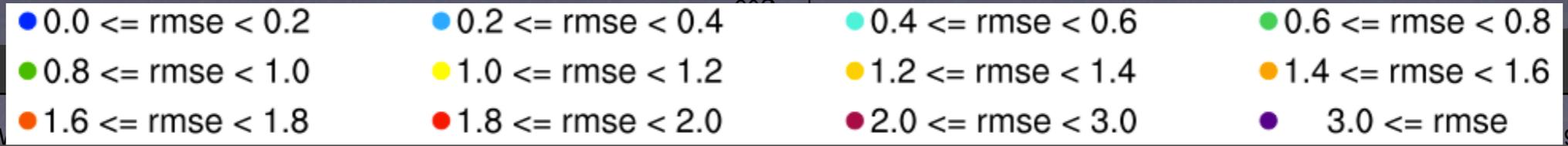
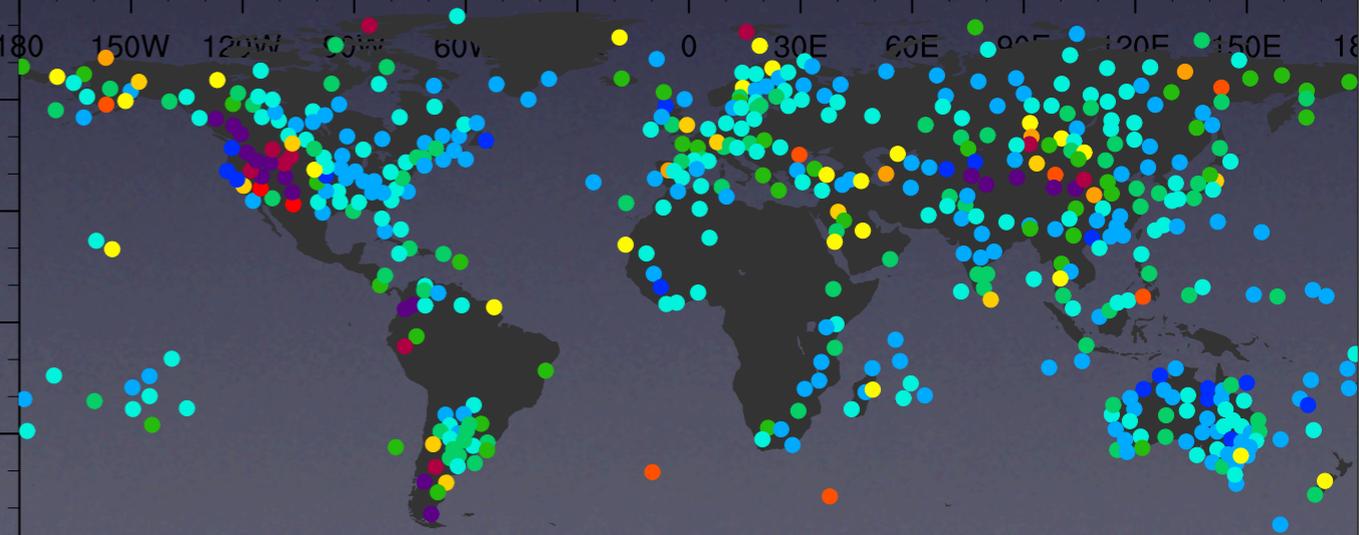
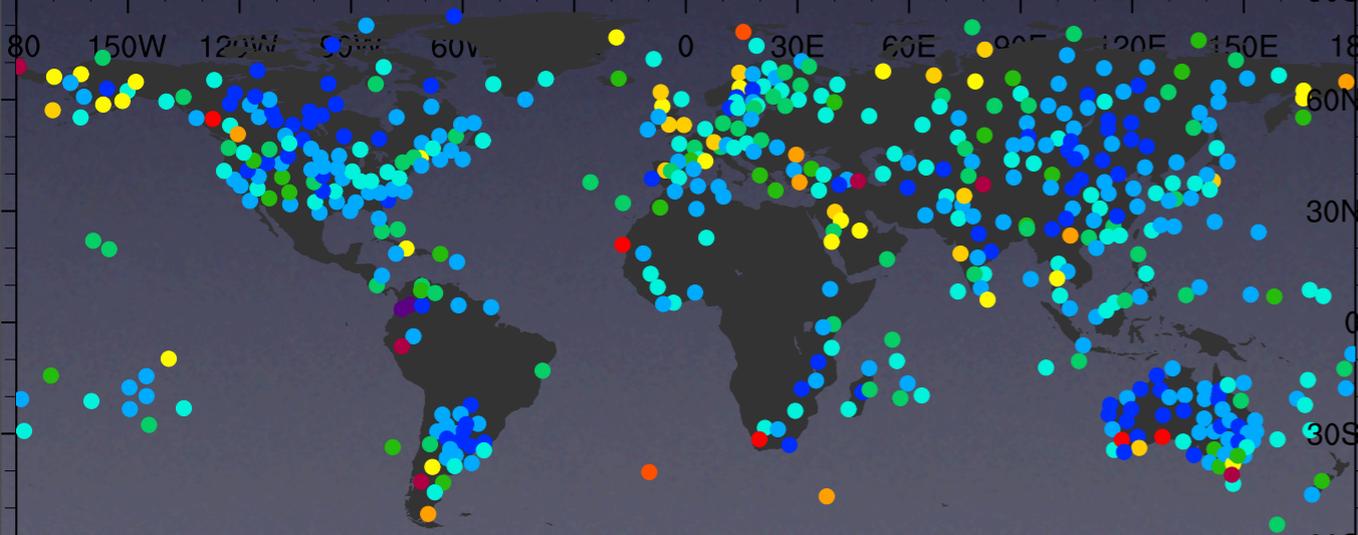
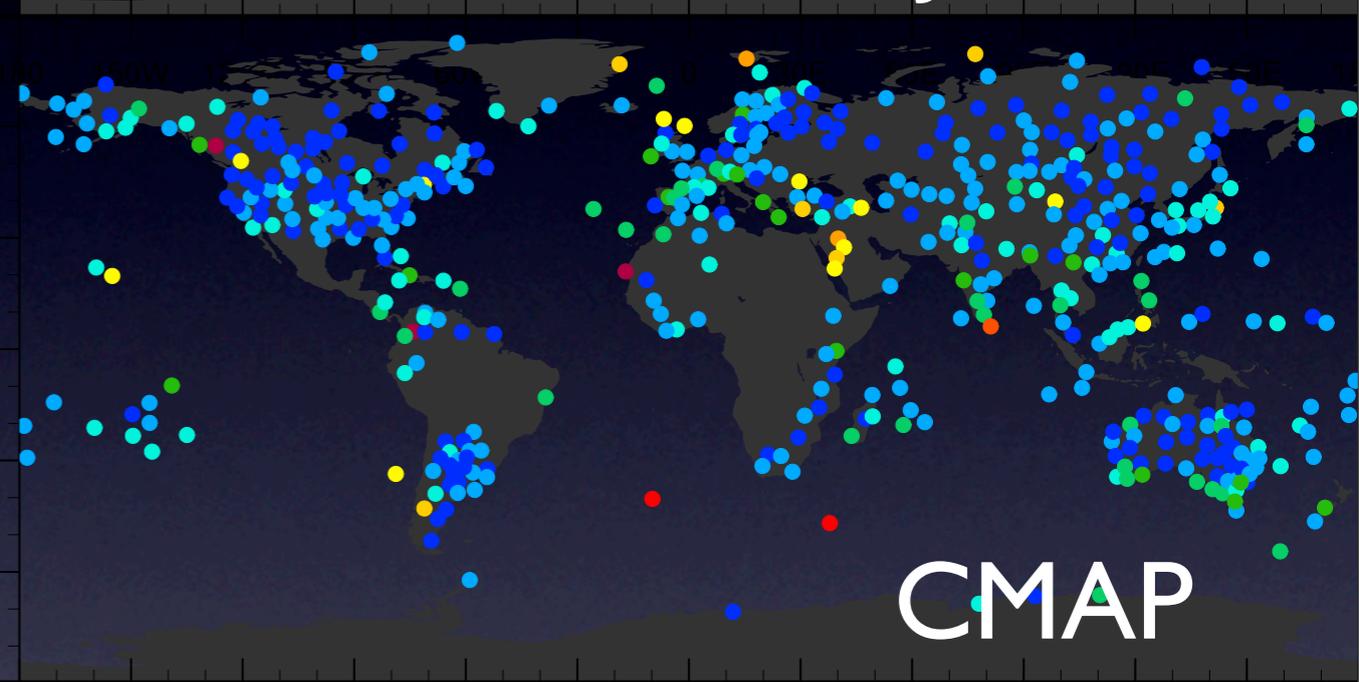
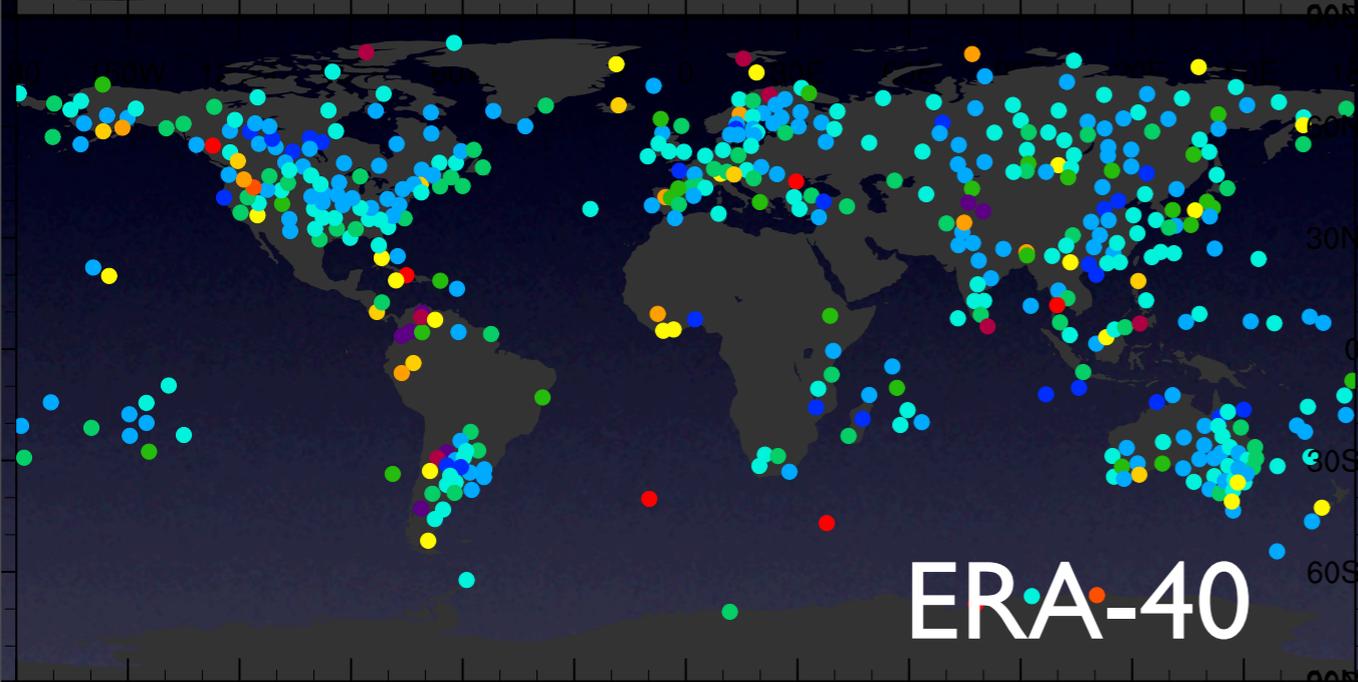
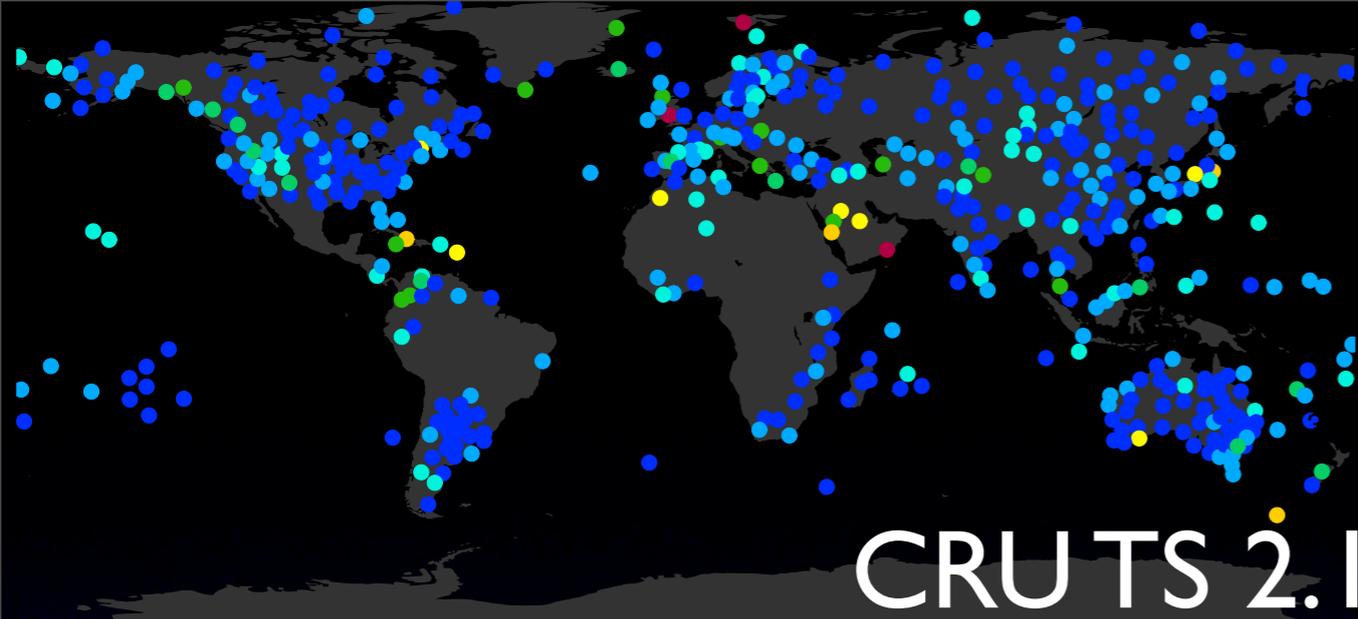


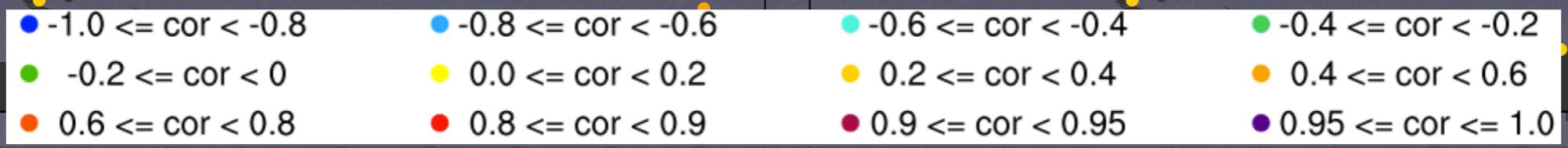
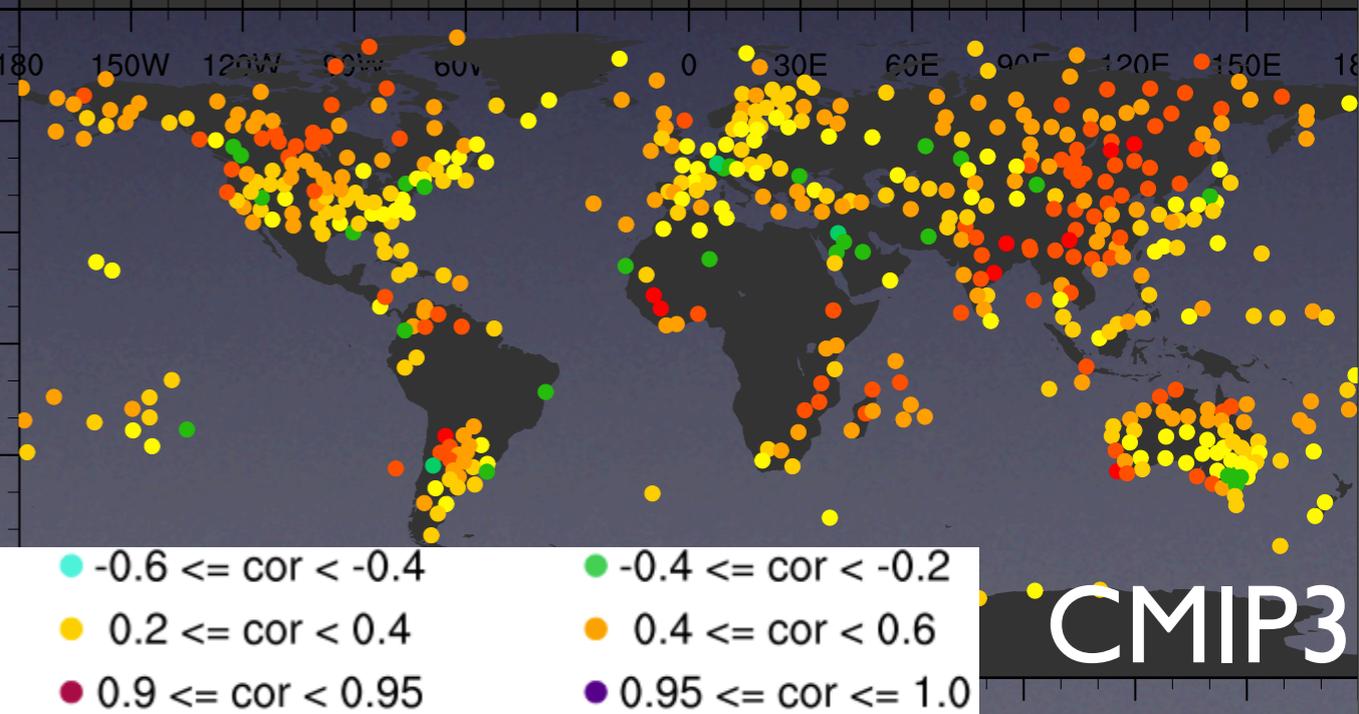
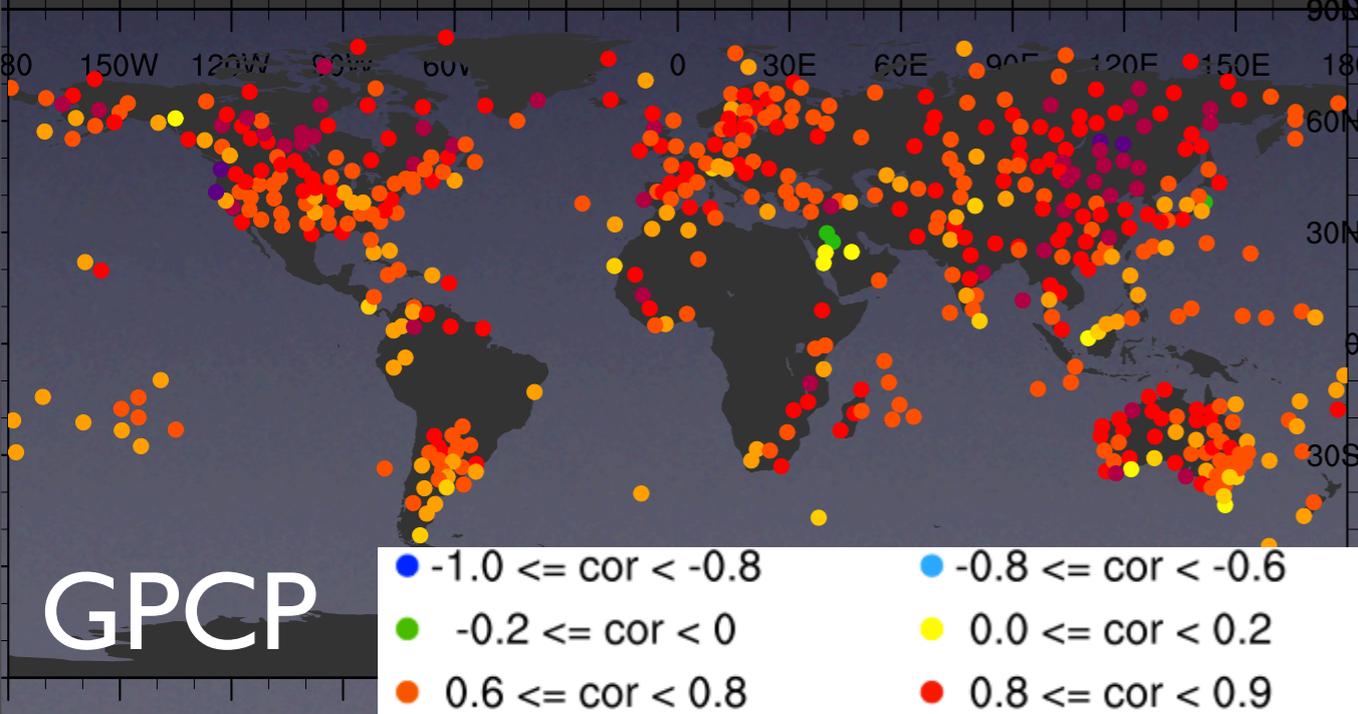
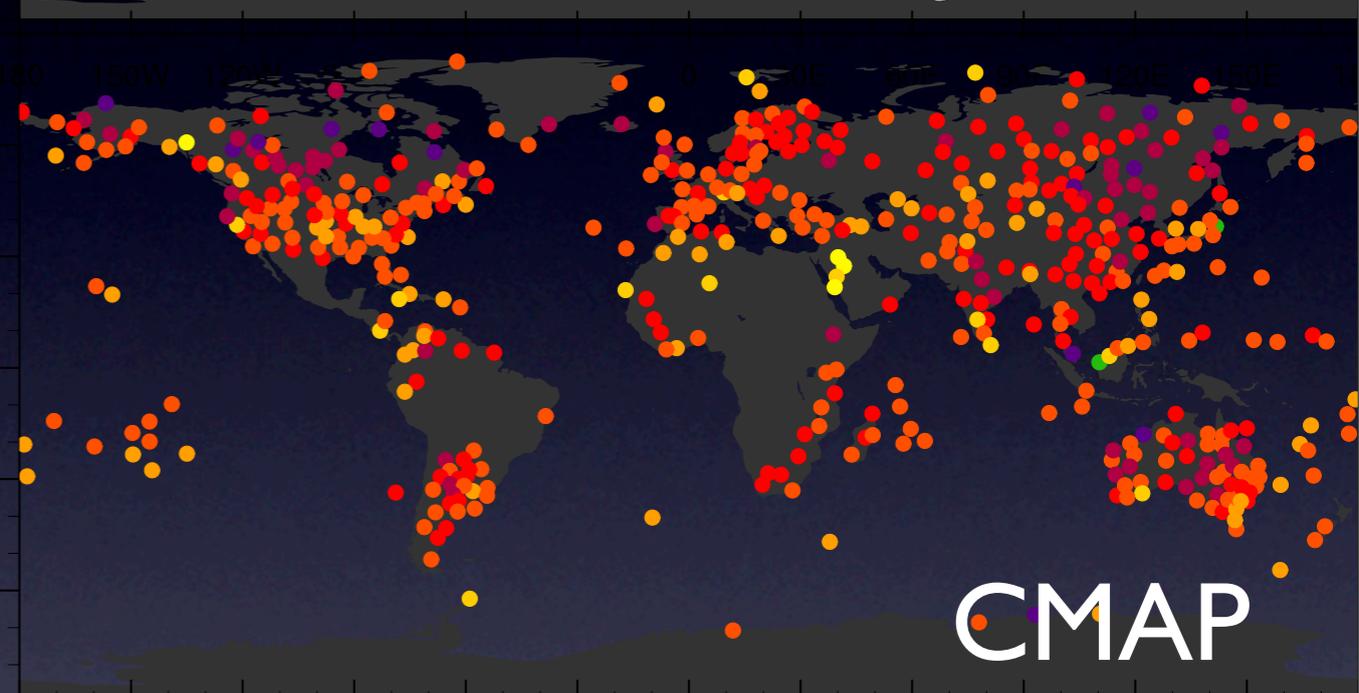
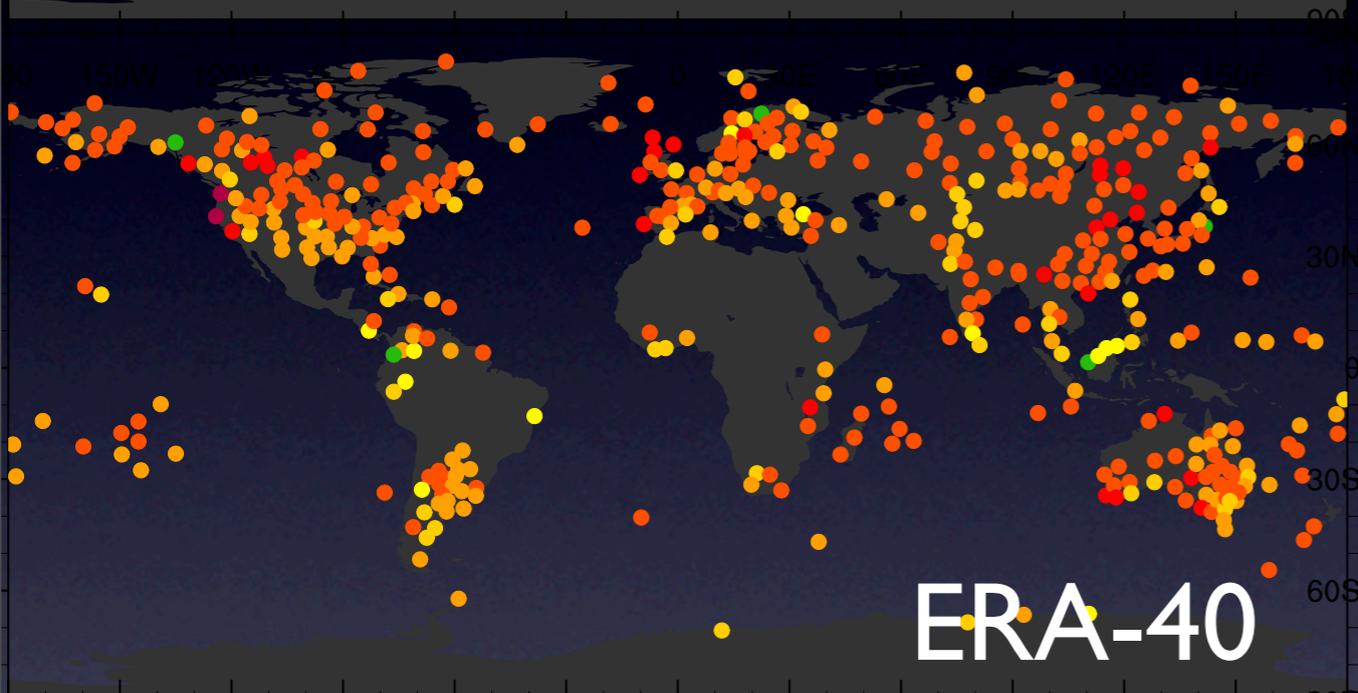
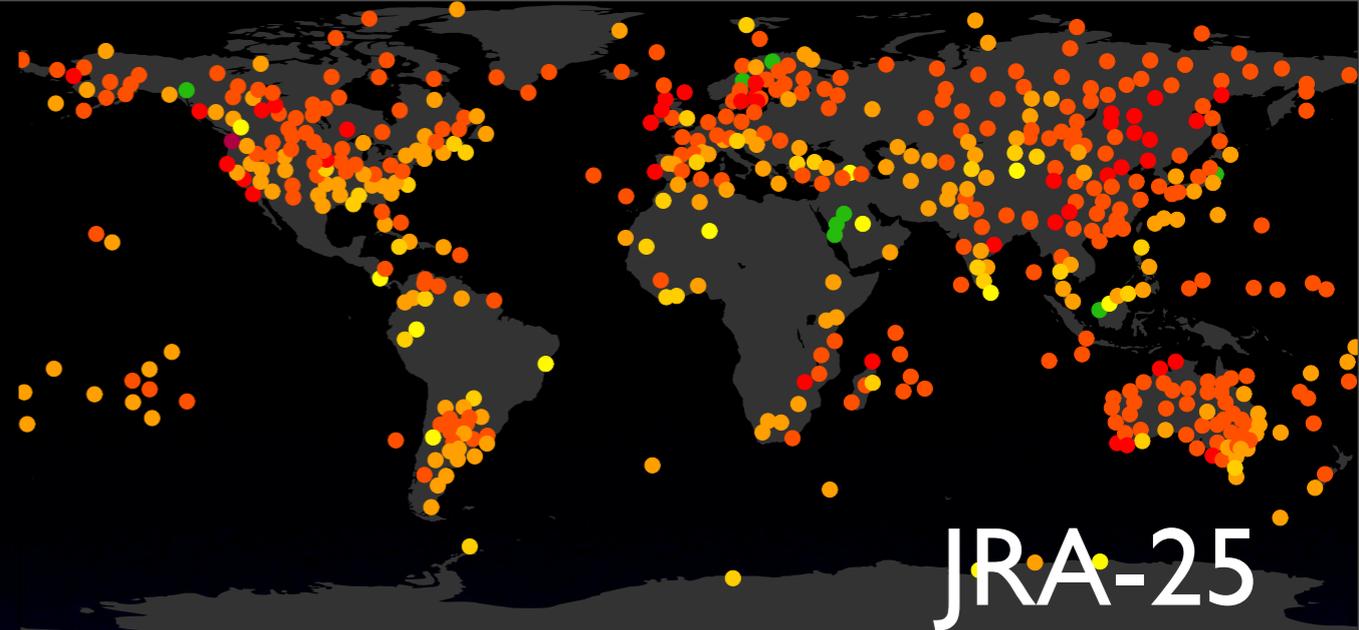
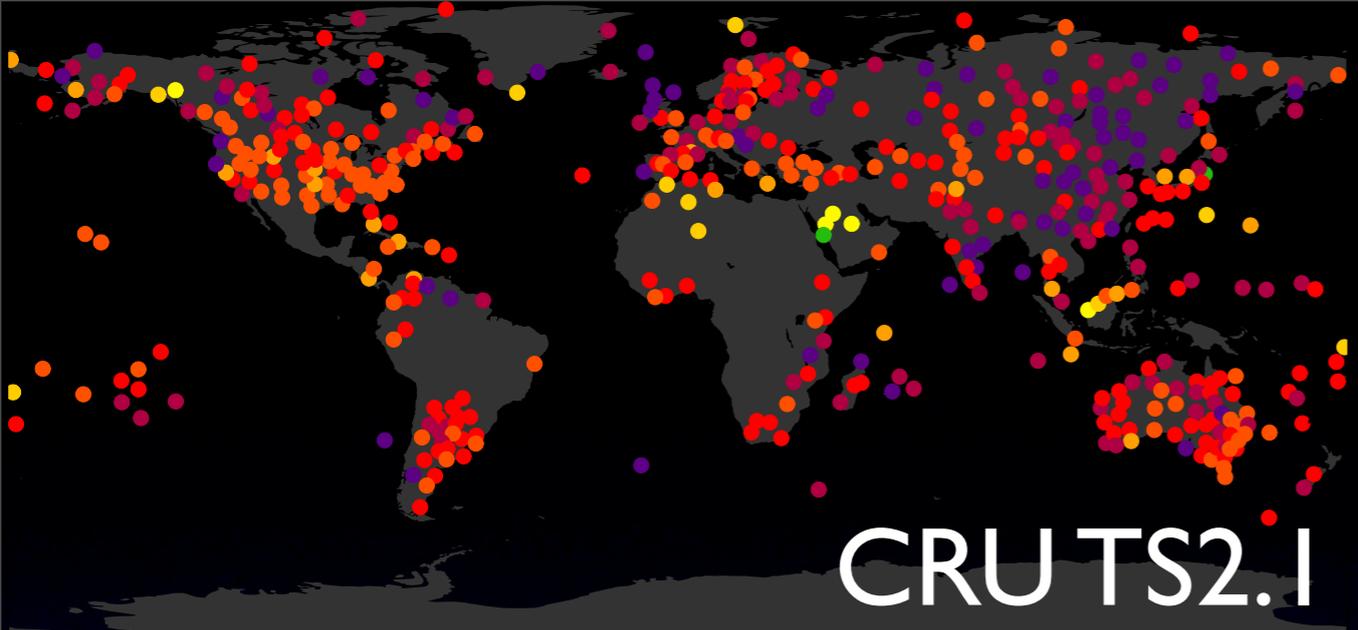
- 0 ≤ MM-PPD < 10
- 10 ≤ MM-PPD < 20
- 20 ≤ MM-PPD < 30
- 30 ≤ MM-PPD < 40
- 40 ≤ MM-PPD < 50
- 50 ≤ MM-PPD < 100
- 100 ≤ MM-PPD < 200
- 150 ≤ MM-PPD < 200
- 200 ≤ MM-PPD < 250
- 250 ≤ MM-PPD < 300
- 300 ≤ MM-PPD < 350
- 350 ≤ MM-PPD < 400
- 400 ≤ MM-PPD < 450
- 450 ≤ MM-PPD < 500
- 500 ≤ MM-PPD < 550
- 550 ≤ MM-PPD

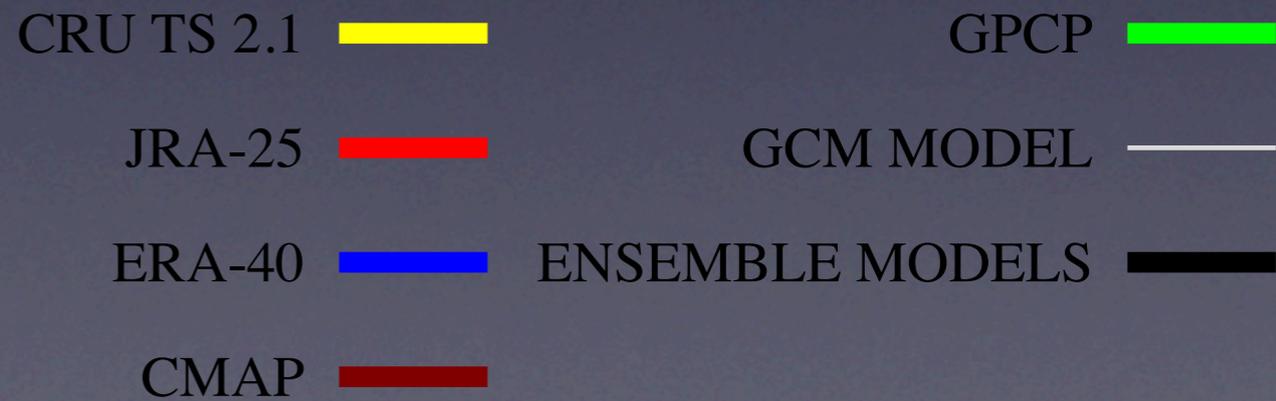
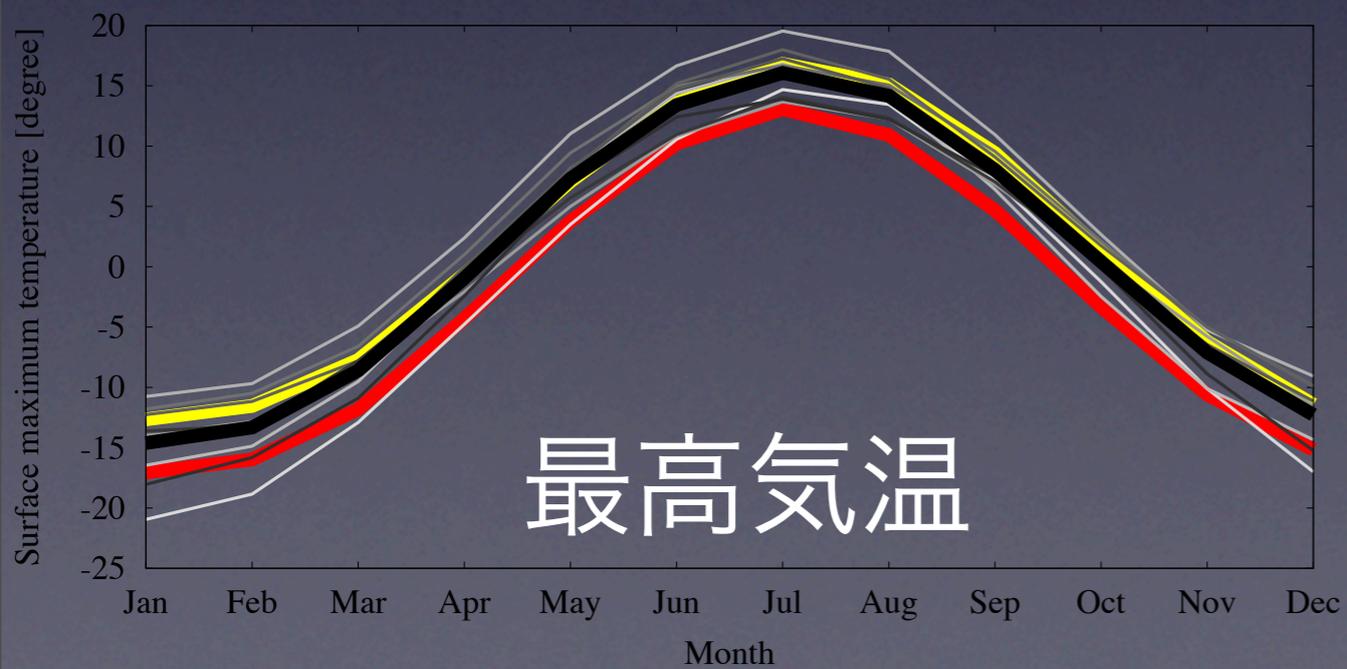
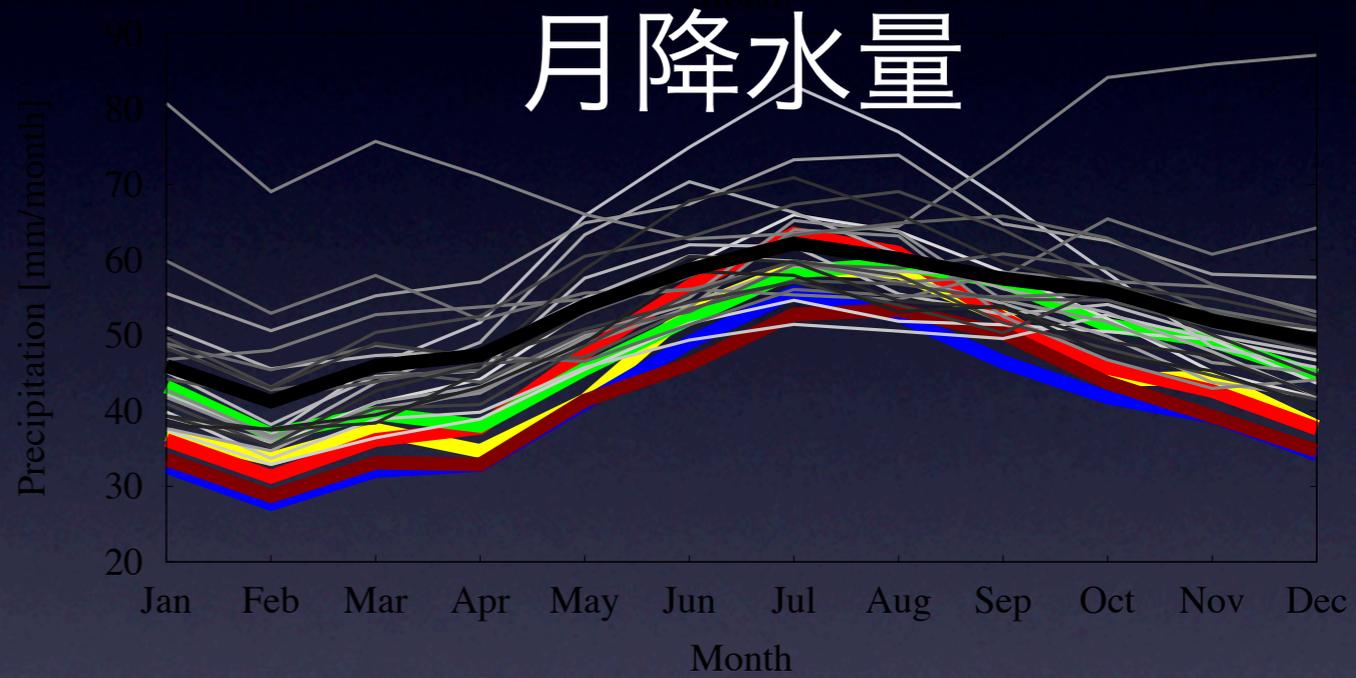
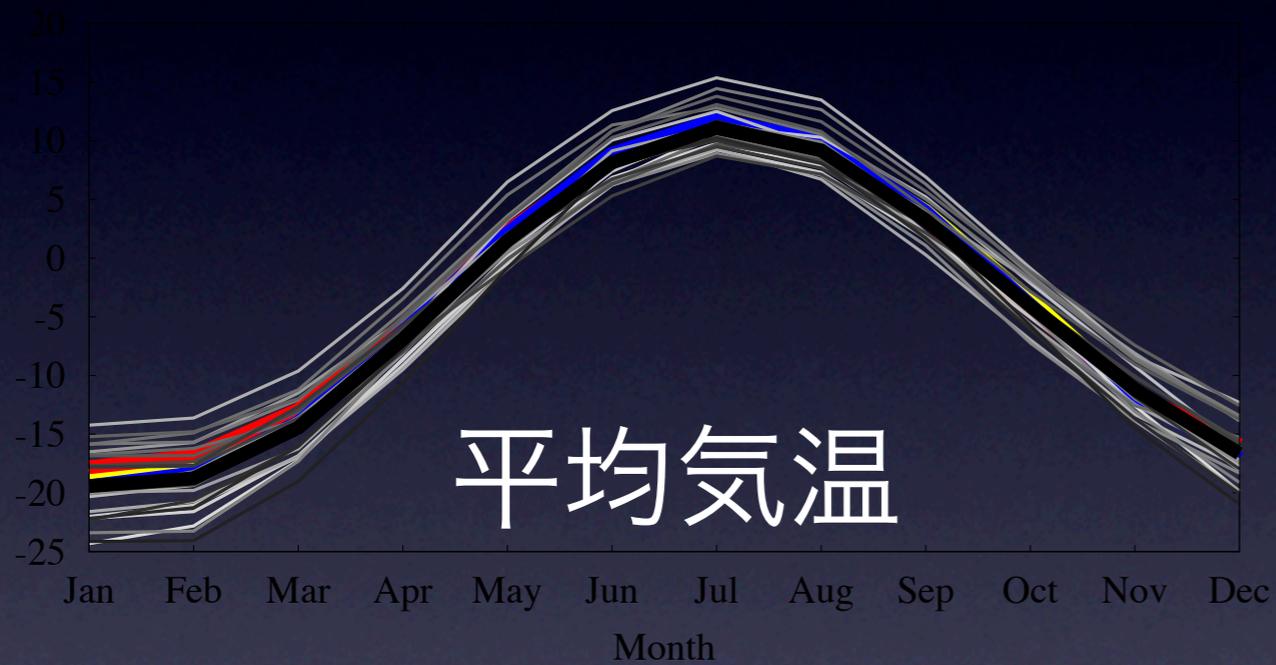
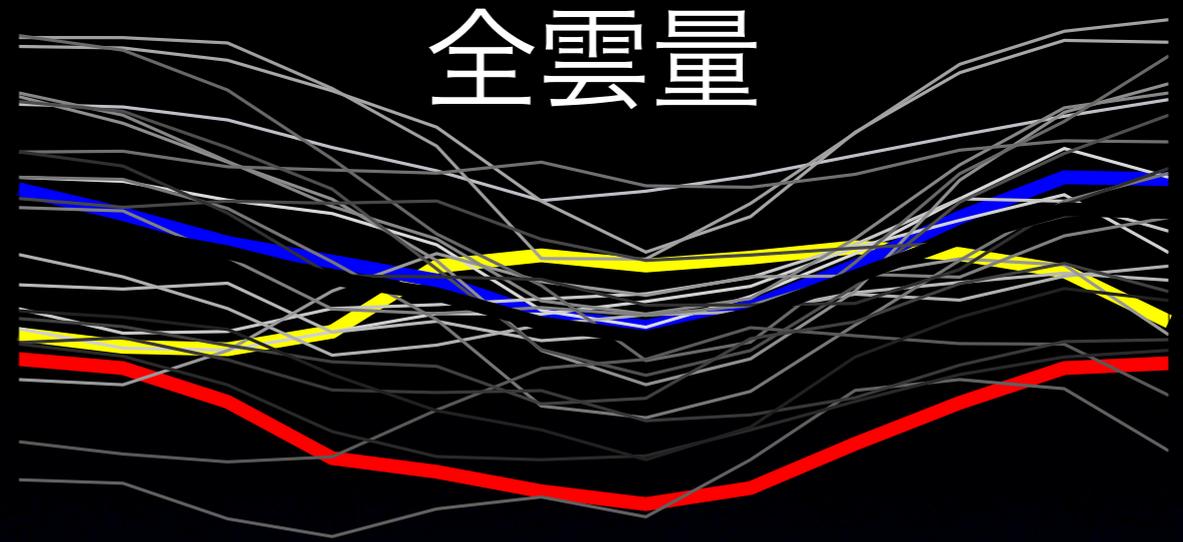
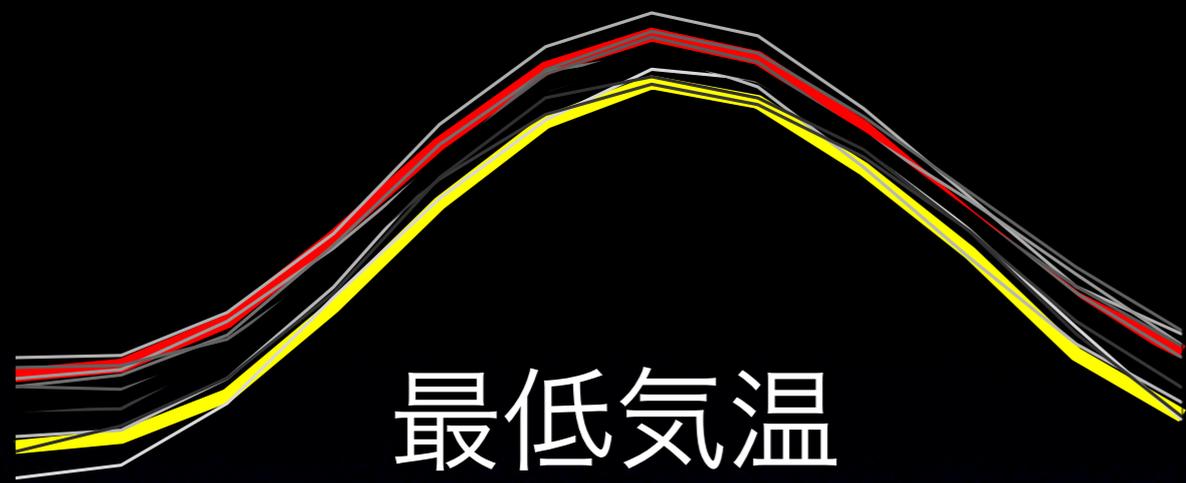
GPCP

CMIP3

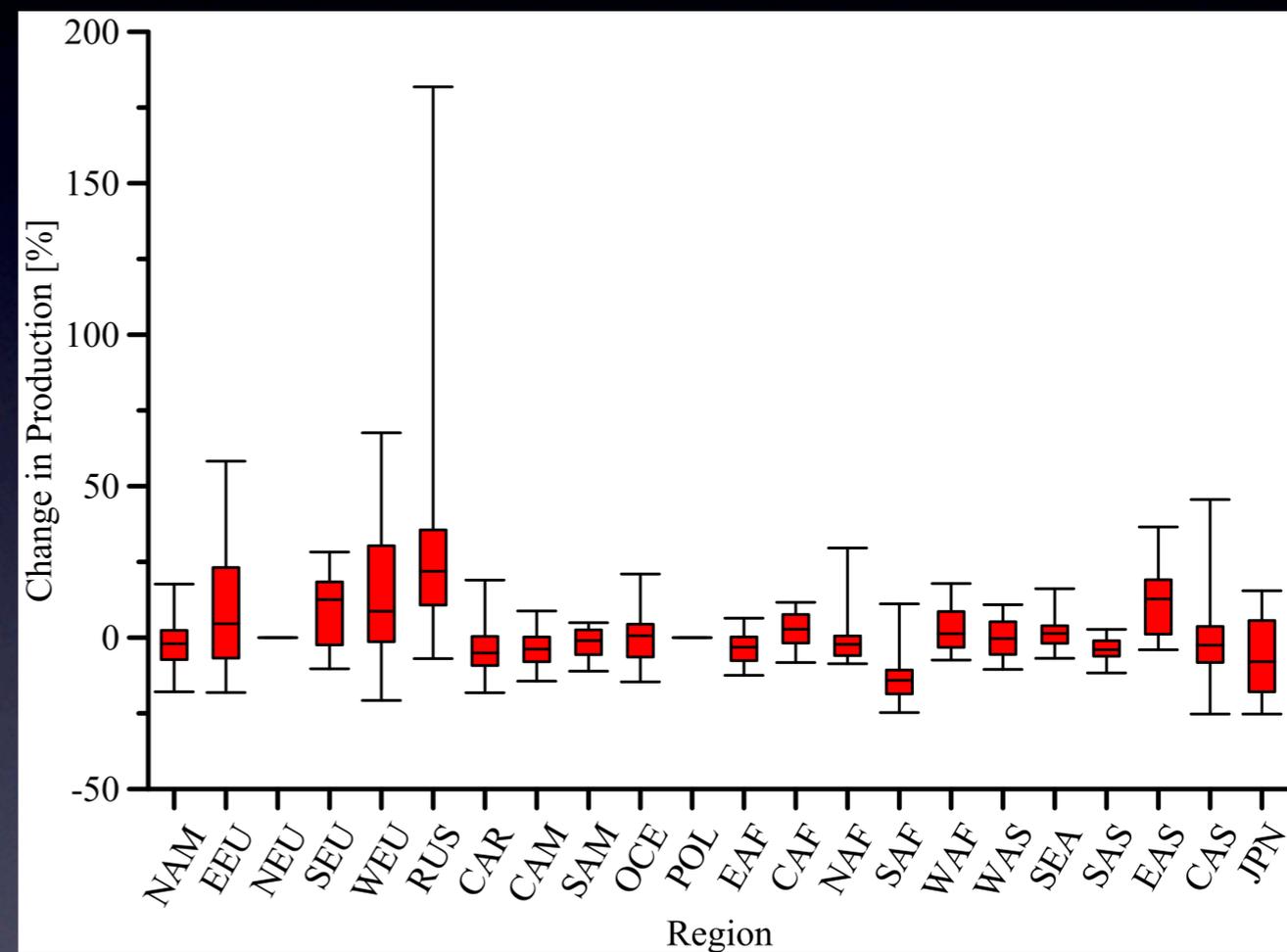
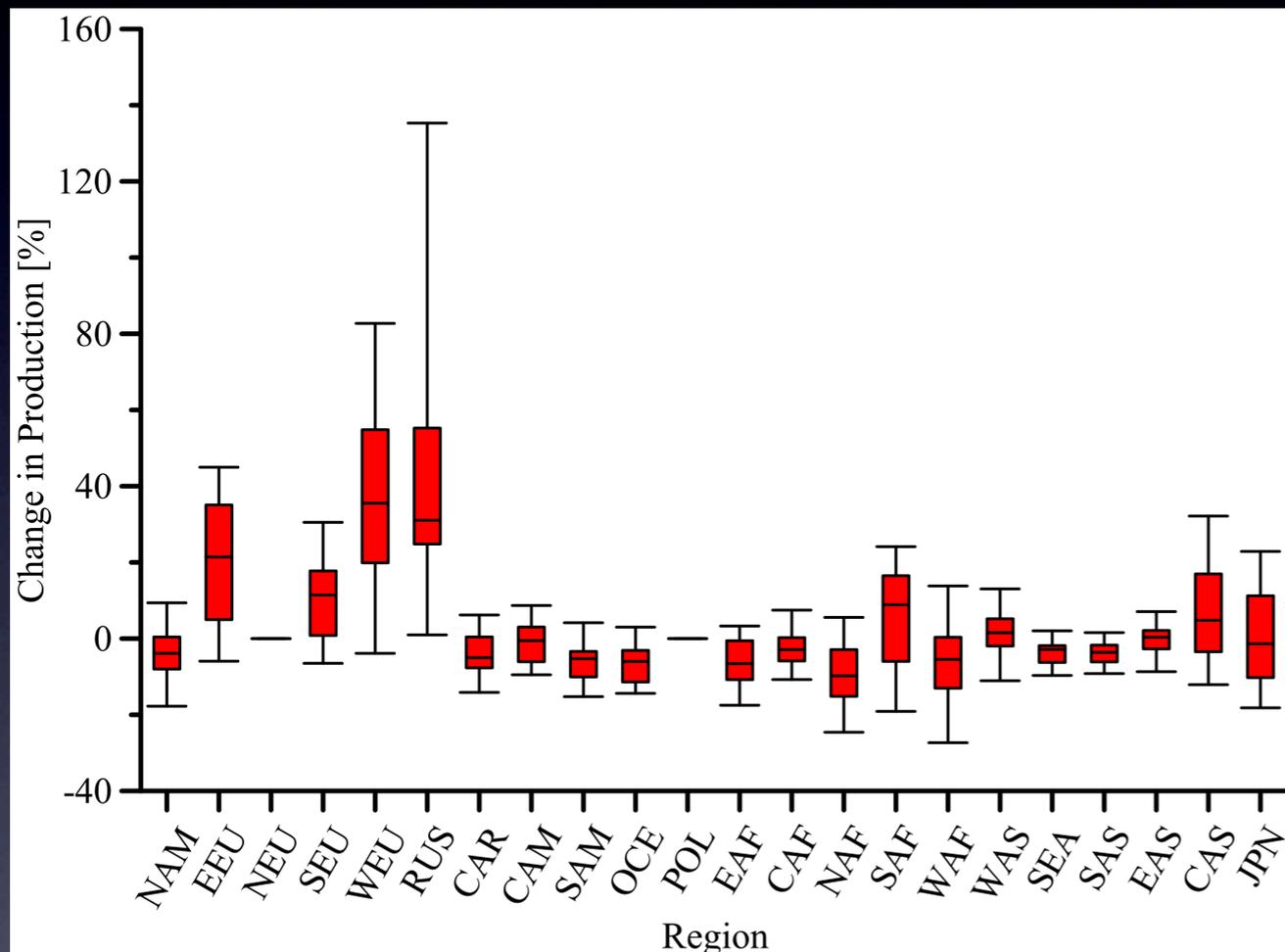








将来推計の不確実性



iGAEZ (Tatsumi et al. 2011)による作物収量変化

2080-2099年平均収量 (1980-1999年比)

(左：コメ, 右：トウモロコシ)

結論

北アメリカ

4-11 GPCP,
12-3 CRU TS2.1
JRA夏期の再現性x
西部(標高大) 再現性x
複雑地形での再解析値の
過大評価傾向

CRU TS2.1 GPCP

ヨーロッパ

夏期に比べて冬期の再
現性が悪い

1-4, 9-12 GPCP
6-8 CRU TS 2.1

アジア

JRA
の過大評価 (特に夏
期), ERAの過小評価
降水量差率の標準偏差, 絶対誤差とも

CRU TS2.1が最も低く, 再現性は
最も良好

アフリカ

CRUを除き過
小評価 (特にERA-40)
データのばらつき, 誤差は

CRU TS2.1が最小

南アメリカ

ERA-40, GPCPの
過大評価が顕著
複雑地形での再現性x
CRU TS2.1は, 平均絶対誤差の
値が最も小さい

オセアニア

各指標に
見る時空間分布
の再現性はCRU TS2.1
が最も高い

- ・ 各種グリッドデータには特徴的なバイアスがあることから, これらの特徴を考慮した上でこれらデータを幅広い分野における研究に活かしていくことが重要
- ・ 降水量の平年値および季節変動は, CMIP3マルチ気候モデルごとに大きな差があり, 季節変動を全く再現できていないモデルもある. 複数モデルを用いたアンサンブル平均が有効.