

気候モデル再現性評価における変数冗長性を低減する幾つかの試み

西井和晃¹・宮坂貴文¹・小坂優²・中村尚¹・横井覚³・
高藪縁³・アジアメトリックWG
(¹:東大院理, ²:ハワイ大IPRC, ³:東大CCSR)

2009年度秋季大会A351 2009/11/27¹

目的

- 最終目標は気候モデルの総合的な性能を定量的に見積もる指標の開発
- 性能評価には、個々の物理量が観測とどれくらいあっているか、が基準になることが多い
- しかし、複数の物理量を用いた先行研究では、特定の物理量が似たような振る舞いを示す問題(物理量の情報の冗長性の存在)が考慮されていない
- 本研究では、冗長性を低減したモデル総合指標を作るいくつかの試みを行った

用いたデータ

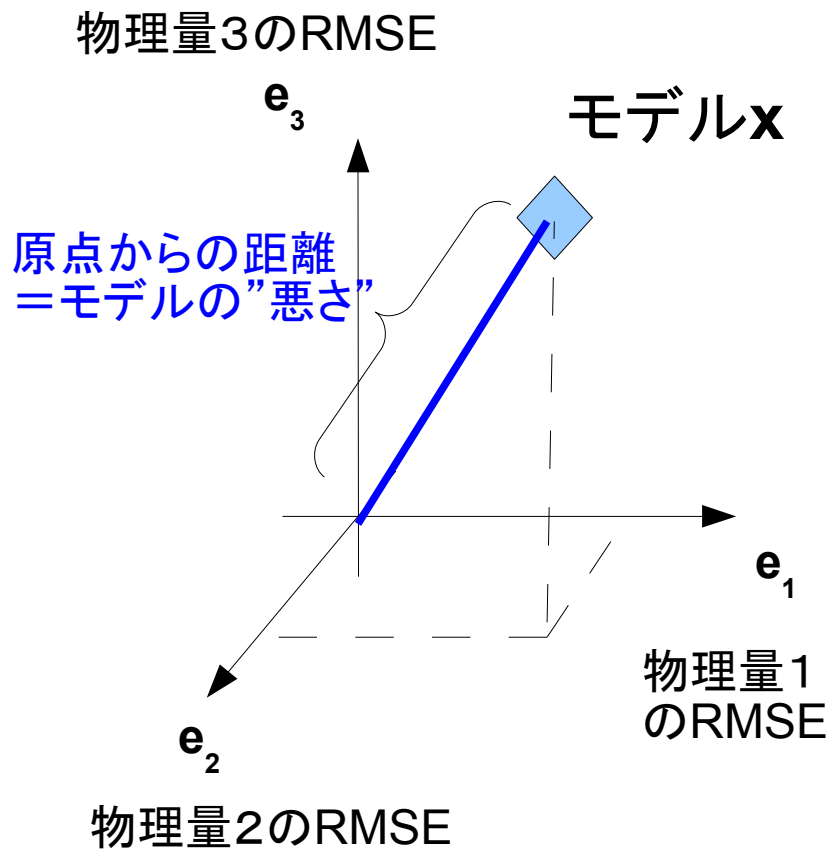
- CMIP3気候モデルの出力
 - 24モデル. 22物理量
- ”観測値”
 - JRA25, OISST, ERBE, CMAP
- 1月の気候平均場のみ
- 観測からのRMSEを全球で計算
- RMSEをモデル間2乗和が1になるように変数ごとに基準化(すべて正)
- この研究では手法の提案が目的なので、全球バイアスとパターンの区別などの、詳細な解析は行わない

RMSEデータのー部

物理量RMSEを基底とする多次元空間での各モデルの位置を表すとみなせる

	BCCR	CCSM	CGCM47	CGCM63	CNRM	CSIRO30	モデル
SLP	0.26	0.17	0.18	0.13	0.33	0.19	
u200	0.22	0.17	0.2	0.16	0.2	0.18	
v200	0.21	0.21	0.19	0.18	0.19	0.21	
u850	0.21	0.19	0.22	0.18	0.25	0.18	■ ■ ■
v850	0.2	0.2	0.19	0.17	0.2	0.22	
t300	0.35	0.09	0.21	0.21	0.16	0.13	
t500	0.29	0.11	0.21	0.2	0.17	0.17	
物理量							■ ■ ■

物理量の情報の冗長性について (1/3)



3つの物理量を考えRMSE空間でのモデルxの位置を (X_1, X_2, X_3) と表す。

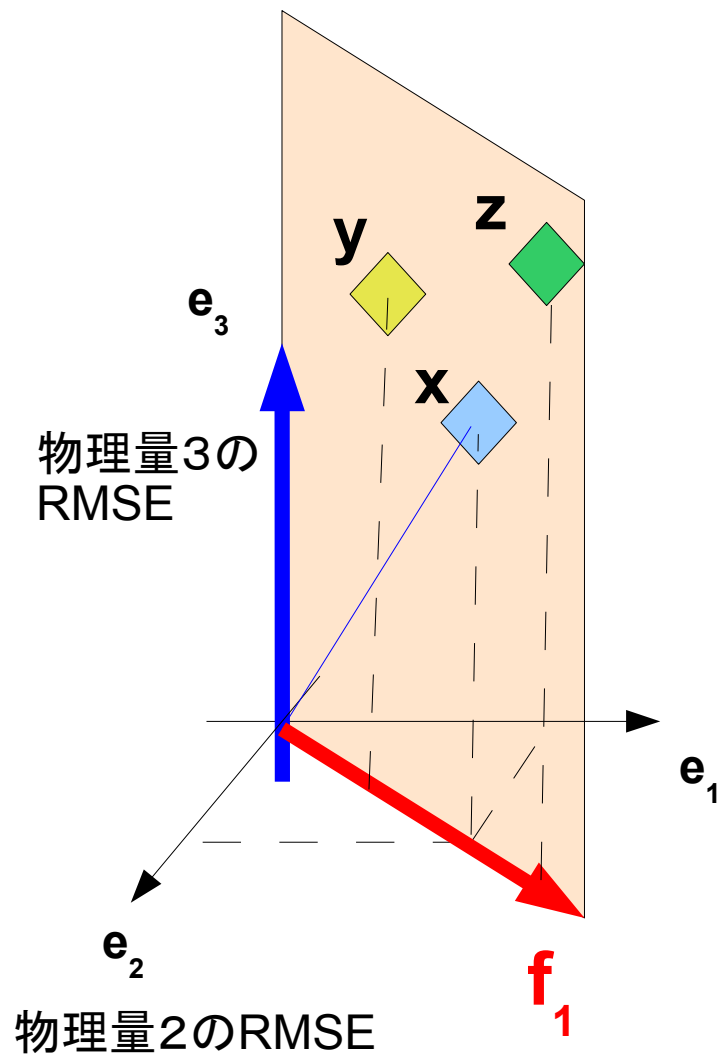
モデル x の原点からの距離は

$$|\mathbf{x}|^2 = X_1^2 + X_2^2 + X_3^2$$

各基底は誤差の大きさを表している
ので、原点からの距離が大きいほど、
"悪い"モデルのはず。

完全モデルは、内部変動がなければ
原点上にある。

物理量の情報の冗長性について (2/3)



しかし、物理量1と2が同じ振る舞いをする
と、

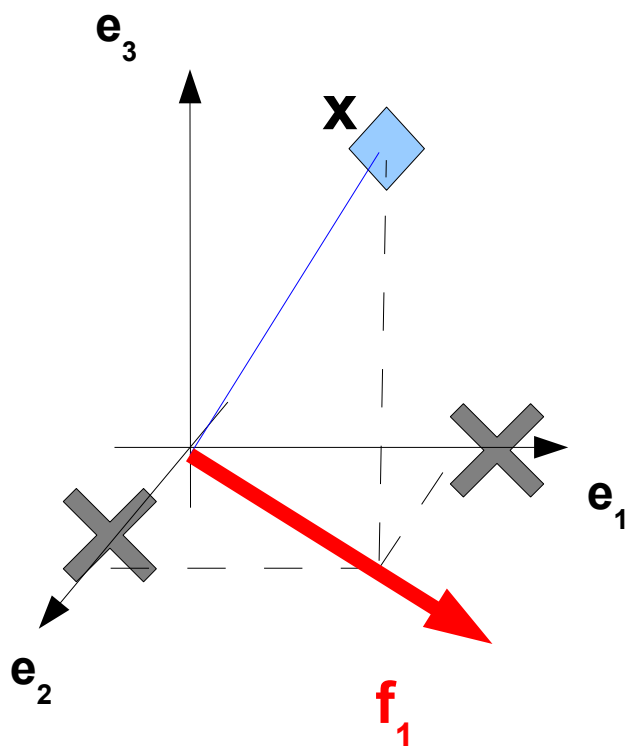
$f_1 = (e_1 + e_2)$ と e_3 で張られる平面上に
どのモデル(x, y, z, \dots)も分布する。

このとき、物理量1と2のRMSEが等し
いので、($X_1 = X_2$)

$$\begin{aligned} |x|^2 &= X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 \\ &= \underline{2X_1^2} + X_3^2 \end{aligned}$$

つまり、同じ振る舞いをする物理量を
評価に含めると、それらの物理量の
寄与が個数分だけ不当に大きくなる。

物理量の情報の冗長性について (3/3)



この物理量の情報の冗長性を取り除くために、 $\mathbf{f}_1 = (\mathbf{e}_1 + \mathbf{e}_2)/\sqrt{2}$ を新しい基底とし、それに射影した値のモデル間のばらつきを正規化する。

新しい各基底での値の2乗和を総合指標とする

冗長性あり $2X_1^2 + X_3^2$



冗長性低減 $X_1^2 + X_3^2$

同じ振る舞いをする物理量の寄与をまとめて、小さくできる

特異値分解(SVD)

RMSEの物理量・モデル行列 $X = (\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_m)$

に対するSVD

$$X = U W V^T$$

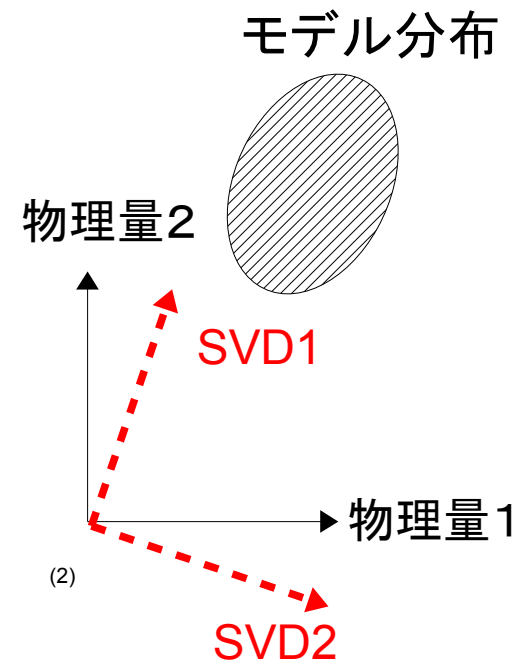
U が新しい基底、

V が各基底に対する各モデルの”得点”

しかし、基底ベクトルの要素に負を含む基底があると再現性の評価として用い難い。

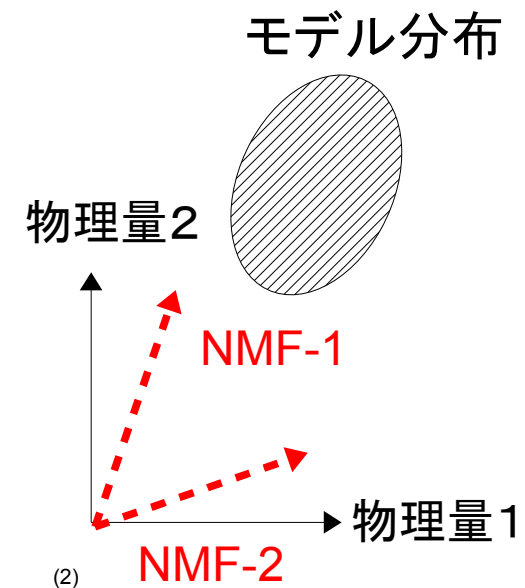
(物理量1が悪いと物理量2が良いといった関係を示す基底)

ここでは全ての成分が正である、第1成分のみ用いる



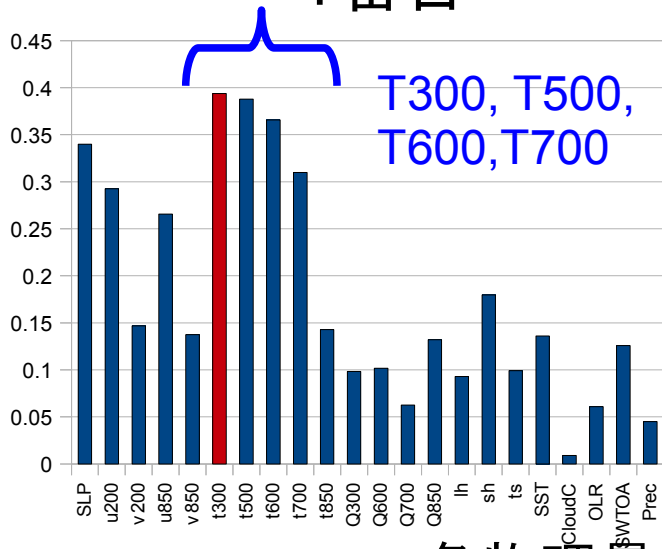
Non-negative Matrix Factorization(NMF)

- Lee and Seung (1999, 2001)
- $X = (\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_m)$ を $X = UV^T$ と分解
- U, V は非負の要素からなる行列 (非負値行列)
- 新しい基底上での得点の値の大小が、モデルの良し悪しと関連して理解できる

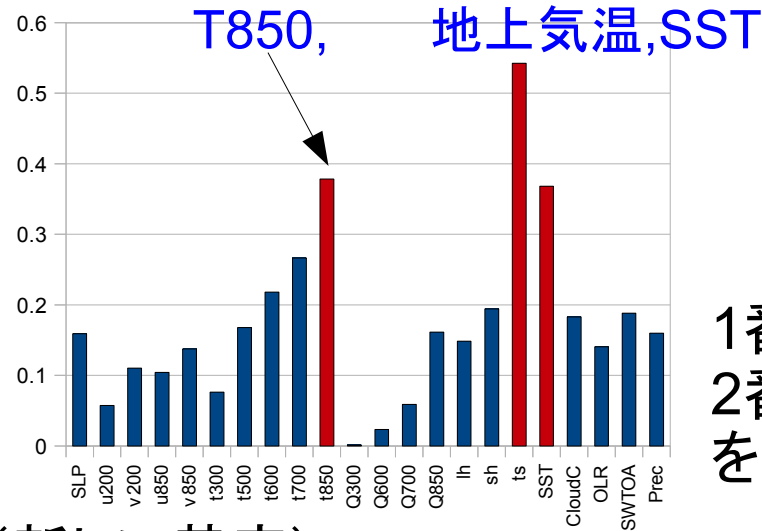


NMFの結果(2つの基底のみ)

1 番目



2 番目

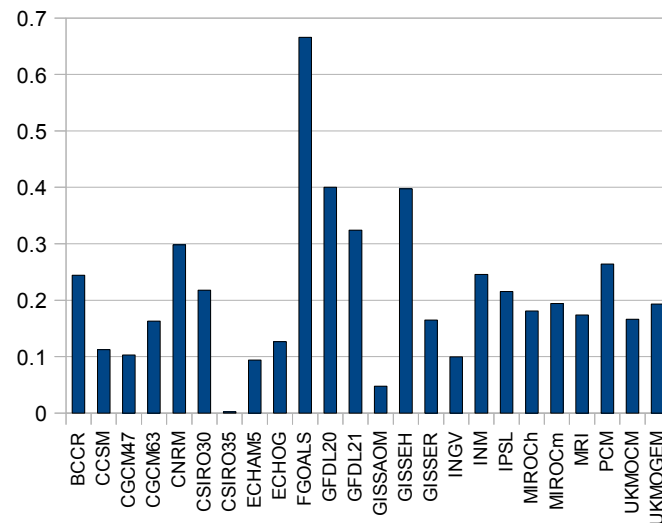
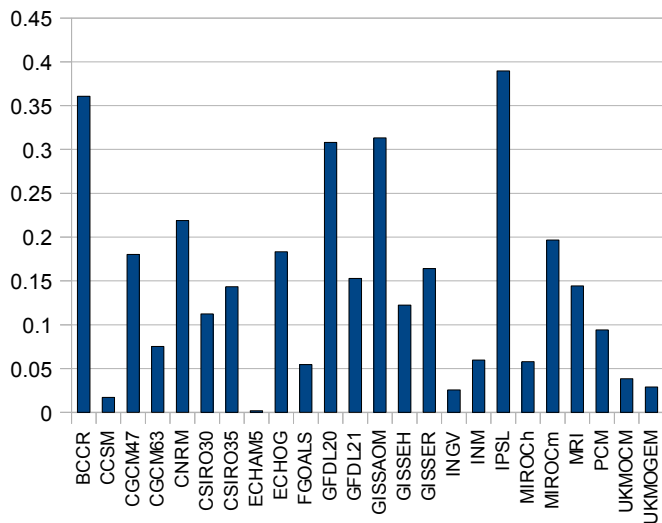


1番目は上中層の気温、
2番目は下層と気温
を示している。

各物理量(新しい基底)

NMFV1

NMFV2



”得点”が高いほど、
そのモデルは
その基底で見たときの
誤差が大きい

新しい基底で測った各モデルの”得点”

クラスタ解析(横井さんの発表を参照)

- k-mean 法で6つのクラスタに分類
 1. Q300
 2. T300
 3. T500, T600, T700, Q850
 4. V200, V850, LH, SH, Cloud, OLR SWTOA, Pr
 5. T850, Ts, SST
 6. SLP, U200, U850, Q600, Q700
- 各クラスタに含まれる物理量をクラスタ内で2乗平均した後、それらを足し合わせた値を総合指標として用いる

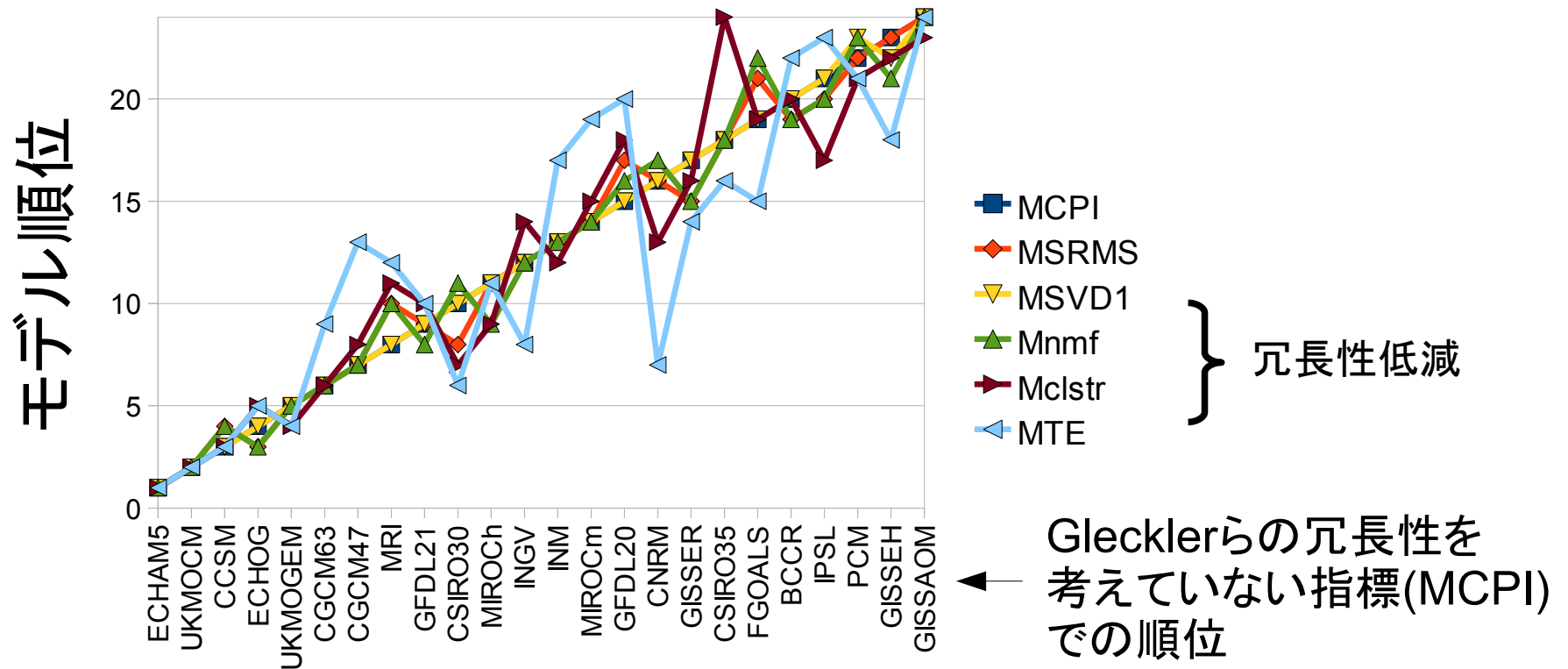
Total energy による総合指標

- 物理的な意味を持った値として、Total energy (Talagrand 1981など) を用いる
- 誤差をエネルギーの単位で表す
- 水平風、気温、地表気圧、比湿 のみ
- 放射、雨、雲などの物理量は評価に含まれない

$$\text{TE} = \frac{1}{2} \iint_A u'^2 + v'^2 + \frac{c_p}{T_r} T'^2 + RT_r \left(\frac{p'_s}{p_r} \right)^2 + \varepsilon \frac{L^2}{c_p T_r} q'^2 dA dp, \quad T_r = 270\text{K}$$

運動エネルギー + 有効位置エネルギー + 内部エネルギー + 潜熱 の鉛直全球平均

各総合指標の相互比較（順位）



- どの指標でみても傾向はほぼ同じ
 - 良いモデルはどの観点でも良い
 - 物理量の数が少ないためあまり差が出ない？
- Total Energy を用いた指標は中位で他と違う振る舞いを示す
 - 放射などを含んでいないため？