

日射予測の研究開発動向

-複数予報機関の併用による予測大外しの予見-

宇野史睦*¹・大竹秀明¹・松枝未遠²・山田芳則³

1, 産業技術総合研究所

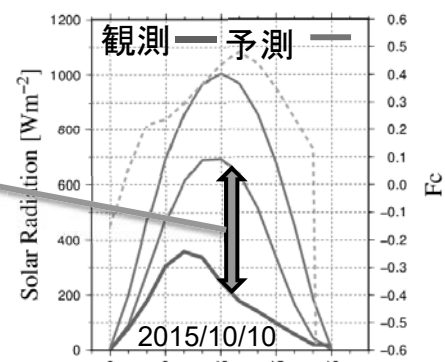
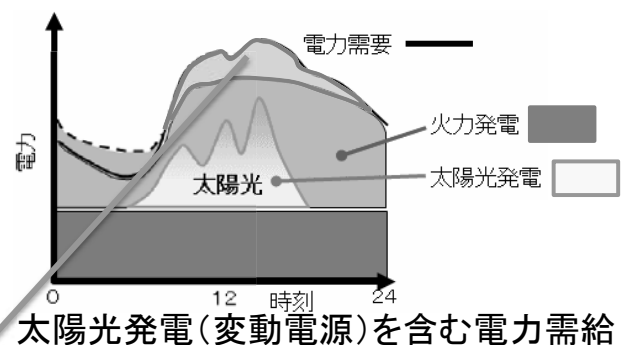
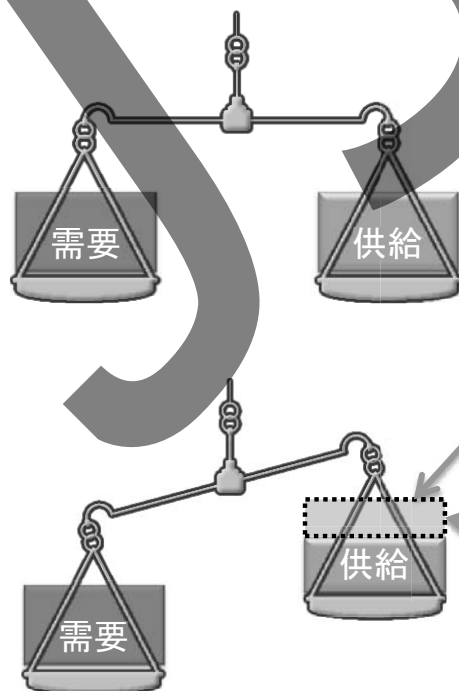
2, 筑波大学/Oxford University 3, 気象庁気象研究所

謝辞: 本研究の一部はJST/CREST [JPMJCR15K1]並びに気象庁気象研究所との共同研究により実施された。

Uno, F., et al., 2017. A diagnostic for advance detection of forecast busts of regional surface solar radiation using multi-center grand ensemble forecasts, Solar Energy, under review.

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

需給制御のための日射量予測大外し予見の必要性 電力の安定運用・経済性の観点などから気象・日射量予測は不可欠



予測大外し時の需給バランス概念図

日射量予測大外し事例

本研究における日射量予測の大外しの定義※

※現在、日射・発電量予測で共通の大外しの定義はない。

信頼区間(95%など)を用いた電力需給制御が検討されているが、確率的にこの区間から外れるものが存在する。

(95%信頼区間であれば 18日/年で大外しは発生)

⇒信頼区間の外側に位置するような(★)
極端な予測大外し事例の事前の予見が重要となる。

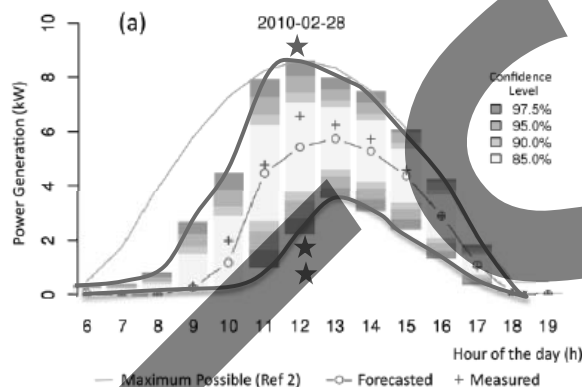


Fig. 5. Examples of forecasts of PV power generation with prediction intervals with the proposed method.

Joao et al, (2015)

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

単一の気象予測情報を利用した日射予測

- 日本における日射量予測のほとんどは、気象庁の予測を入力値として利用
気象庁が大きく予測を外すと、
どんな手法を使っても大きな誤差が生じる。

解決策1

単一の予測だけでなく複数の独立した予測を利用する。

⇒ 複数の予測機関の予測を併用する。

日射量予測コンペティション結果(加藤2015)

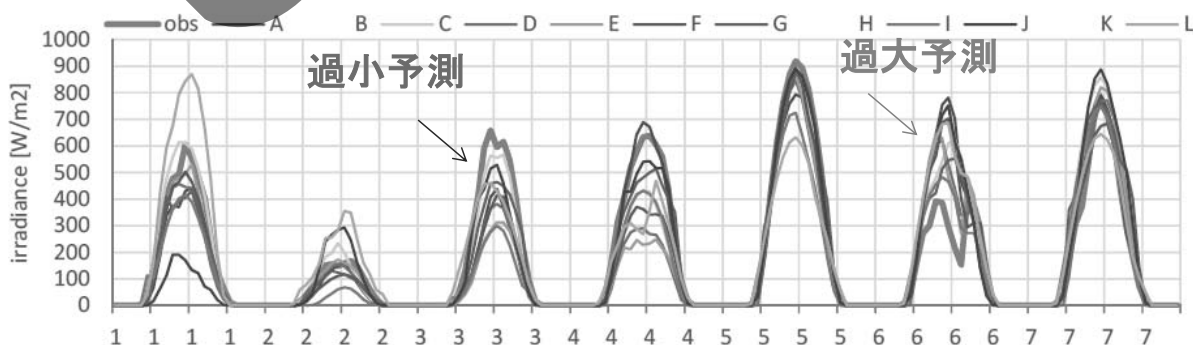


図1 中部地域の空間平均日射強度の実測値および予測値の例(2012年5月1日~7日, 手法B, H, Kを除く)

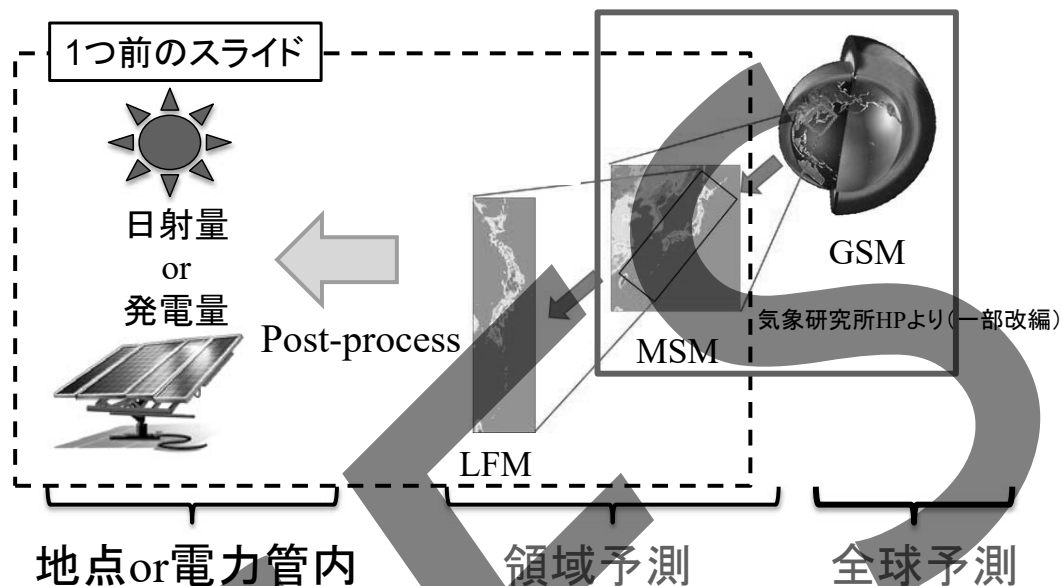
予測誤差の伝搬

領域予測(MSM)の初期値/境界値(全球予測:GSM)が、大きな誤差を持っている場合、その誤差がその後の予測プロセスまで影響する。

解決策2

予測の信頼性(不確実性)を全球予測から評価する。

⇒ アンサンブル予測のばらつき(スプレッド)を使用 (後述)



研究目的

解決策1

複数予報機関のアンサンブル予測*(確率予測)を利用した



解決策2

大外し予見手法の開発

*使用データ (詳細は資料の最後に記載)

TIGGE(The International Grand Global Ensemble)

本日の話題

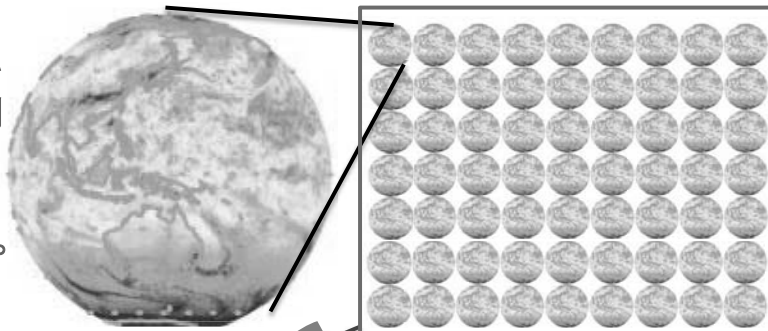
全球アンサンブル予測のばらつき(スプレッド)の情報を利用した
領域予測(MSM)の大外しの予見可能性

#複数予報機関の予測の平均値は、単一の予報機関の予測値よりも高精度であることも確認。(時間の関係で省略)

アンサンブル予測を利用した確率予測

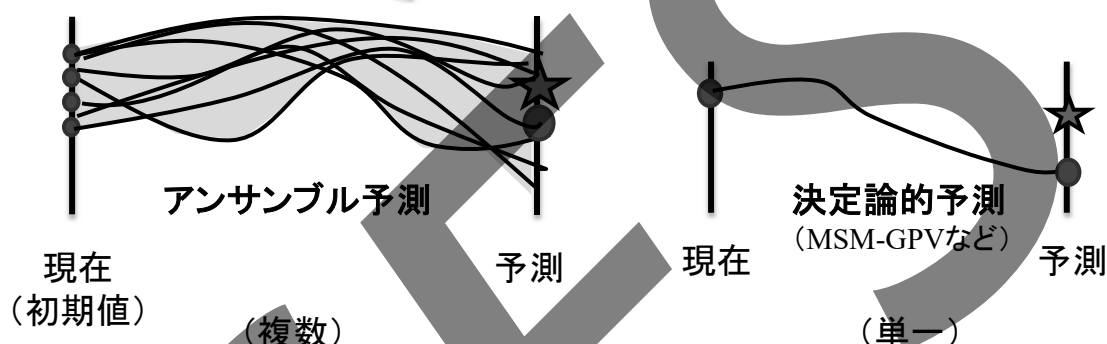
アンサンブル予測

予測の設定(初期値・モデル・スキーム)を少し変えて複数予測を実施すること。予測の不確実性を低減・確率予測に利用。複数(アンサンブル)予測のばらつき(スプレッド)は予測の不確実性・信頼性を示す。



利点

- ・ 予測値のスプレッドが大きい⇒外しやすい
- ・ 複数の予測値の平均値は単一(右下)よりも高精度になる。(左下)



国立研究開発法人 産業技術総合研究所

6

前日の日射量予測の大外しの例 2015/10/10 前日予測

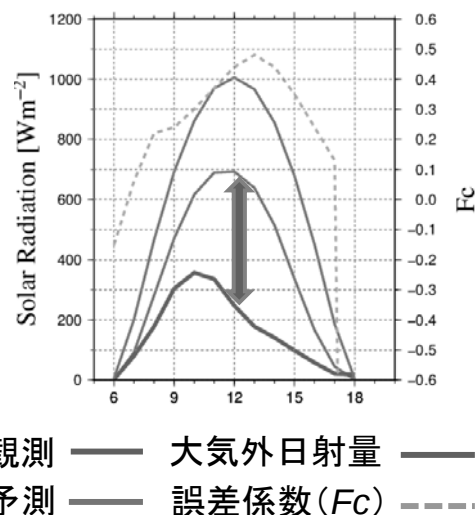
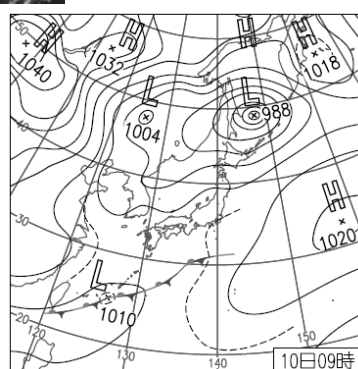
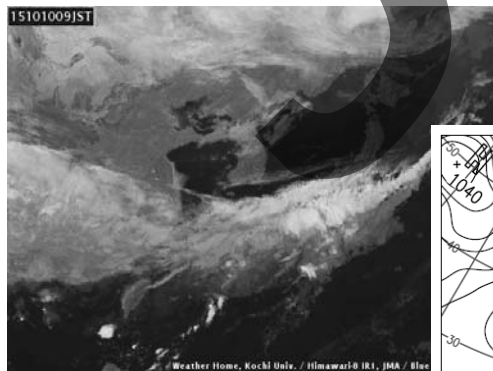
大外し原因

関東南岸の前線と北の低気圧由来の雲域が予測では北上するタイミングが遅く、大外しに

解析方法

複数予報機関で雲域の北上のタイミングはどうなっているか??

複数予報機関のアンサンブル予測の雲域北上のタイミングがばらばらの場合
⇒日本の領域予測も外す可能性が高い!

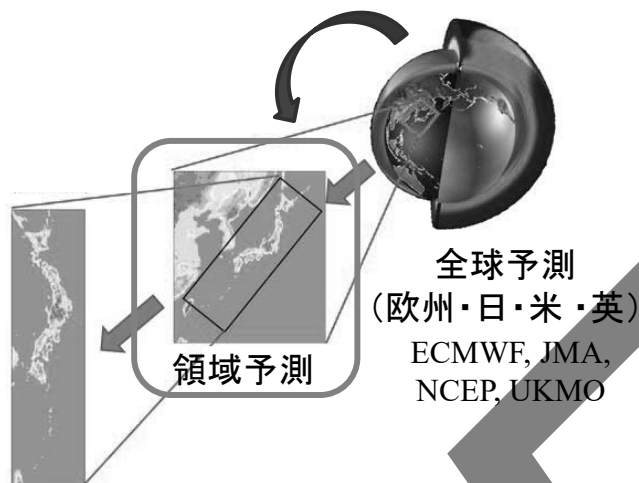


全球グランドアンサンブルの情報の利用方法

領域予測(MSM)が予測を大外しする可能性(シグナル)評価のため
4つの予報機関の全球グランドアンサンブルの情報を利用

誤差が全球予測から領域予測に伝搬
⇒全球予測に領域予測が外すシグナルがあるはず。

⇒ばらつきを指標化



気象研究所HPより(一部改編)

解析対象領域

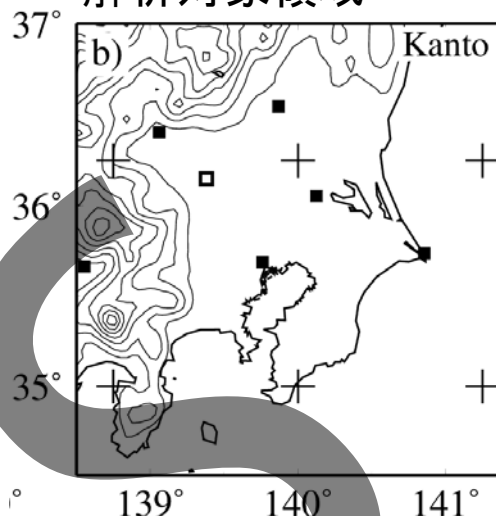


Fig. 解析領域。

+はTIGGEによる予報値の中心座標、

■は日射量観測値点、

□は熊谷气象台(臨時観測)

全球予測 対数グランドアンサンブルスプレッド [LNES_g]

複数の予報機関アンサンブル予測の標準偏差(対数化)



$$LNES_g = \ln \left(\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{NES_k}{\overline{NES}_{m,k}} \right)$$

$N = 4$ (予報機関), $M =$ 月

$\overline{NES}_{m,k}$: 各予報機関毎の規格化アンサンブルスプレッド

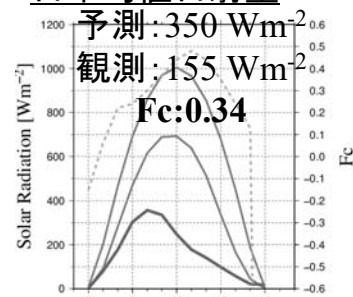
LNES_gとFcに関係があれば、
アンサンブル予測情報から予測を外すシグナルを取得できる

領域予測 予測誤差係数(Fc)

$$Fc = \frac{I_f - I_o}{ext}, \quad \begin{array}{l} I_f: \text{MSM予測値} \\ I_o: \text{地上観測値(7点平均)} \\ ext: \text{大気外日射量} \end{array}$$

※本研究では日平均値でFcを評価

日平均値日射量



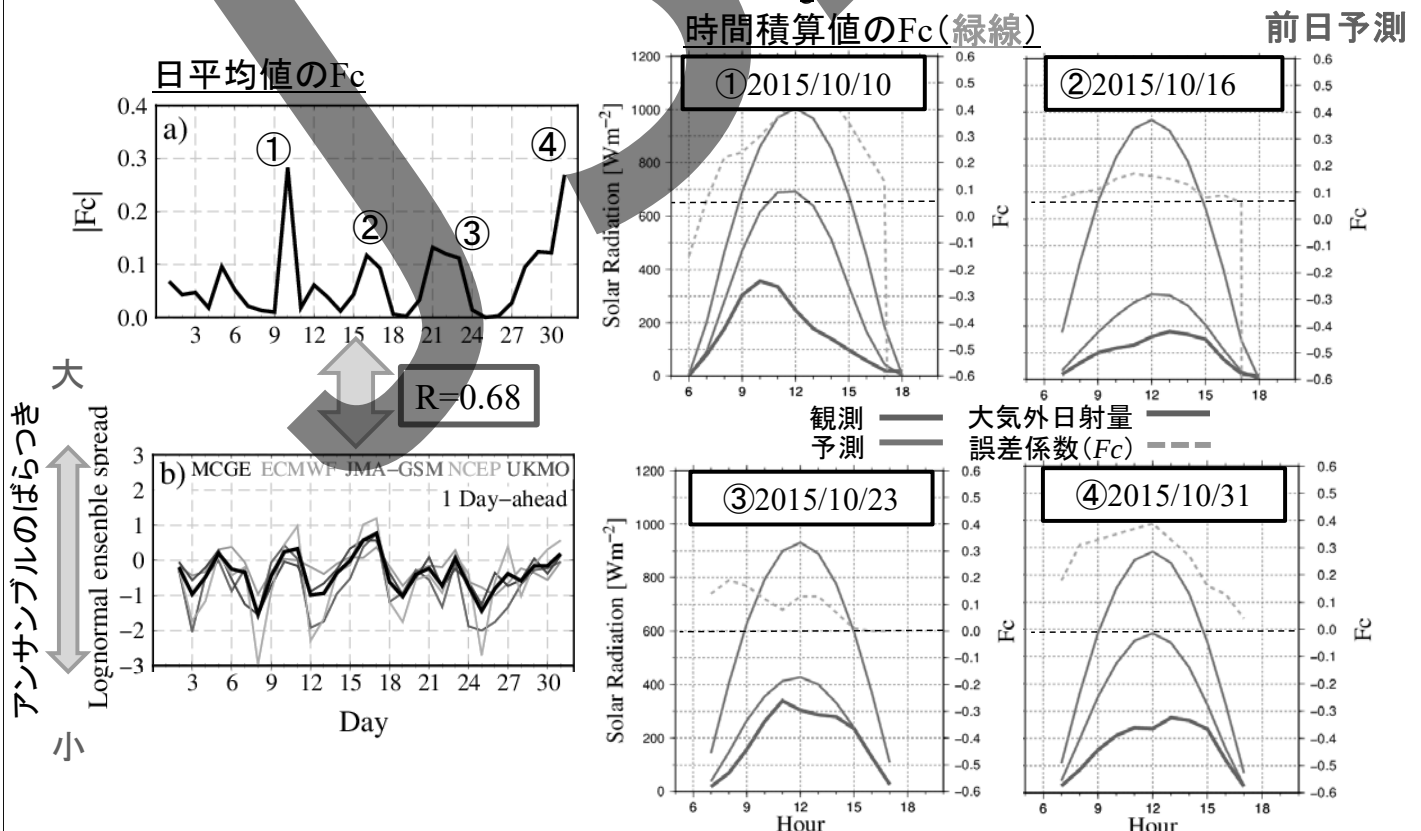
観測 大気外日射量
予測 誤差係数(Fc)

全球アンサンブルスプレッド(LNES, $LNES_g$) と 予報機関毎 複数予報機関平均 気象庁領域予測(MSM) 予測誤差係数(F_c)

- 2015年10月(最大の大外し月)のLNESと F_c の傾向
- LNESと F_c の月毎の相関係数
- ROCカーブによる極端な大外しの検出力評価

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

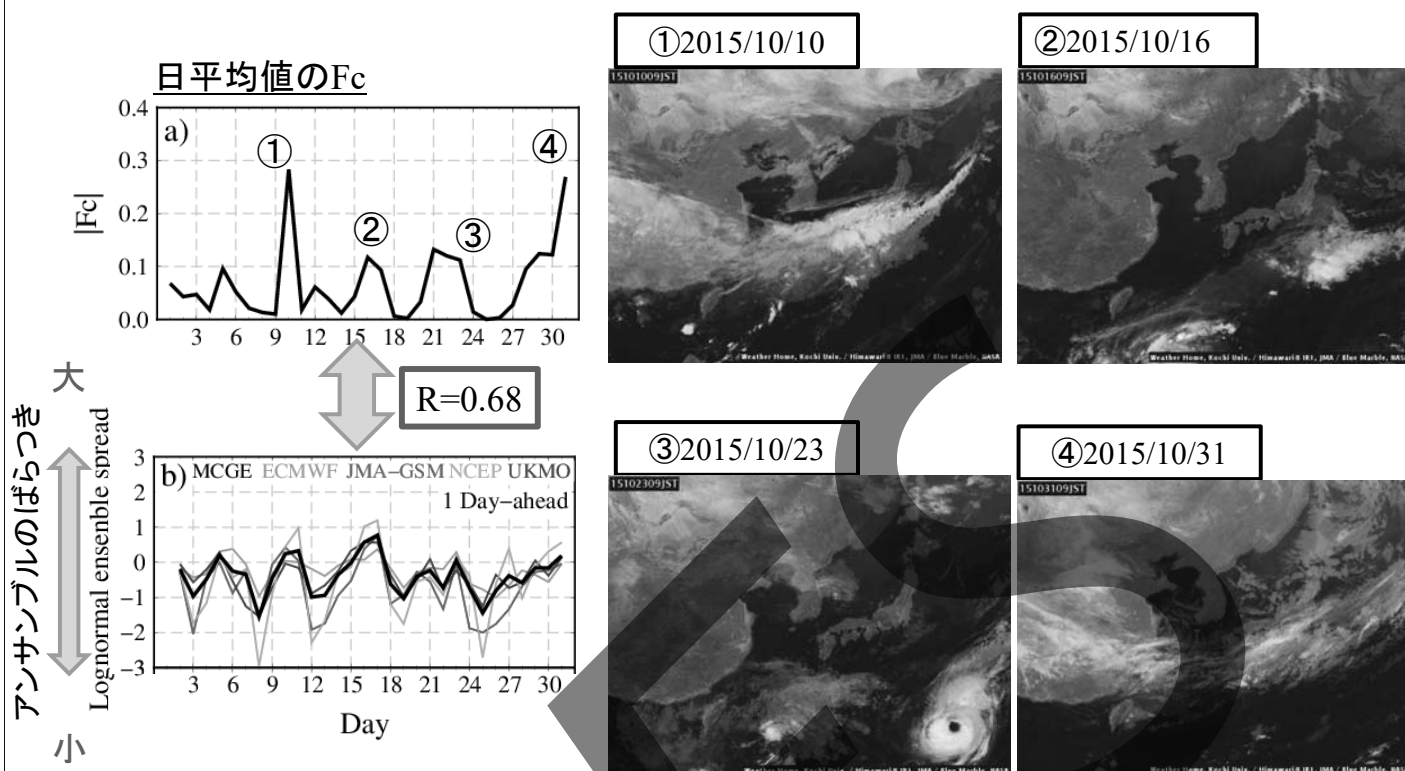
MSM日射量大外し(上)と日射量LNES(下) 対数グランドアンサンブルスプレッド($LNES_g$)と予測誤差係数(F_c)は正相関



国立研究開発法人 産業技術総合研究所

MSM日射量大外し(上)と日射量LNES(下)

前日予測

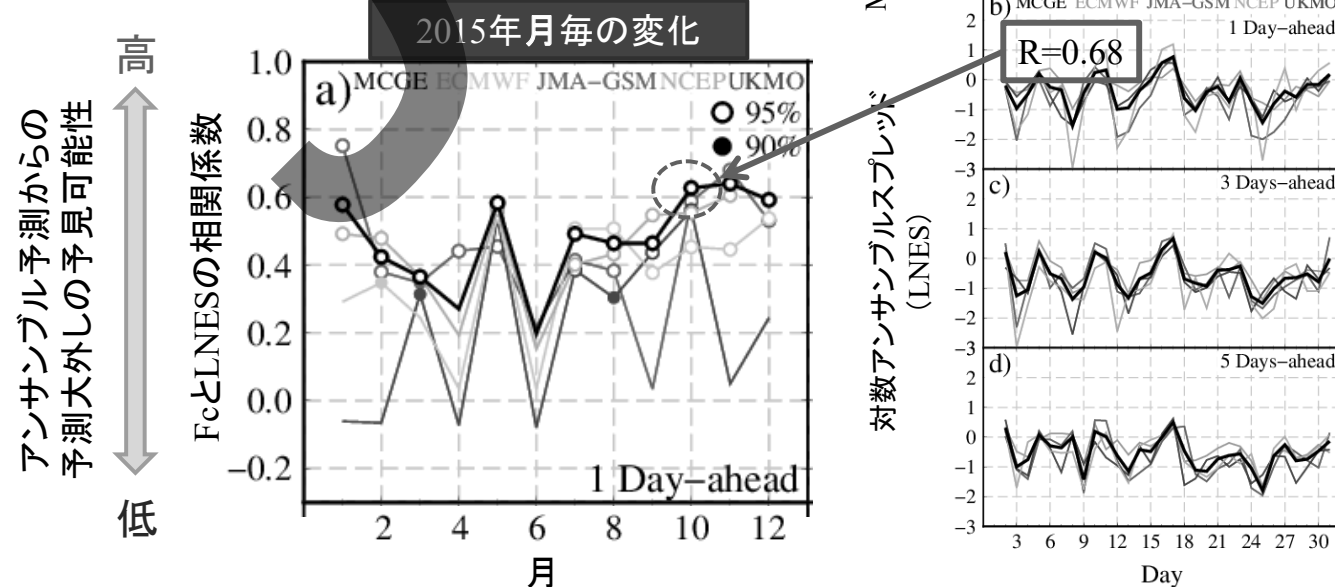


国立研究開発法人 産業技術総合研究所

12

全球グランドアンサンブルスプレッド(LNES)と 領域モデルの予測誤差係数(Fc)の相関

- 領域予測(MSM)の誤差係数(Fc)とグランドアンサンブル(MCGE)のスプレッド(LNES_g)の相関は0.68(10月)
- 冬季で高く95%で有意な相関がある月は、前日予測:10か月、6日先予測:7か月あった。



国立研究開発法人 産業技術総合研究所

13

指標の評価手法 ROC カーブ・スコア、予測分類表

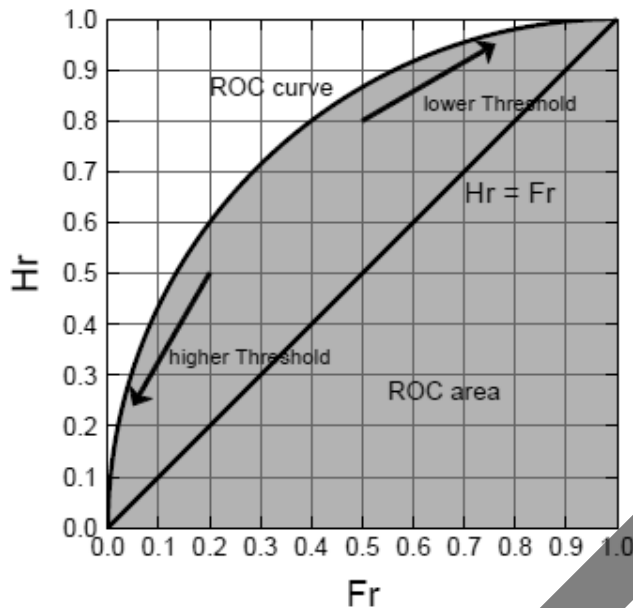


図 B.4.2 ROC 曲線の模式図。横軸は誤検出率 F_r 、縦軸は捕捉率 H_r である。灰色の領域の面積が ROC 面積である。

ROC カーブ

対角線より左であれば検出力のある手法

ROCスコア

ROCカーブの面積 0.5以上で検出力あり。

実際の大小し			
検出指標による判定		大小し	大小し無し
	大小し	的中 FO	空振り FX
	大小し無し	見逃し XO	XX
	計	M	X

気象庁数値予報課報告

確率的な気象予測のための アンサンブル予報
の課題と展望 より引用

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

アンサンブルスプレッドを利用した予測大小しの予見

特に相関係数が高い5カ月で、大小しの予見可能性を評価した。 前日予測

- 3回/年の大小しの予見は可能（右表）
- 中規模の大小しの予見には改良が必要（左表）
- 大小ししない日は90%以上で予見可能であった。

一年で36回の大小し

領域予測の実際の大小し (1時間平均 $F_c > 0.15$)			
日平均 $LNES_0 > 0.15$ (大小し指標)		大小し	大小し無し
	大小し	15 (的中)	8 (空振り)
	大小し無し	21 (見逃し)	110

一年で3回の大小し

領域予測の実際の大小し (1時間平均 $F_c > 0.3$)			
日平均 $LNES_0 > 0.15$ (大小し指標)		大小し	大小し無し
	大小し	3 (的中)	21 (空振り)
	大小し無し	0 (見逃し)	130

1日に1時間以上大小しがある日数を評価

大外し検出力評価 (ROC curve)

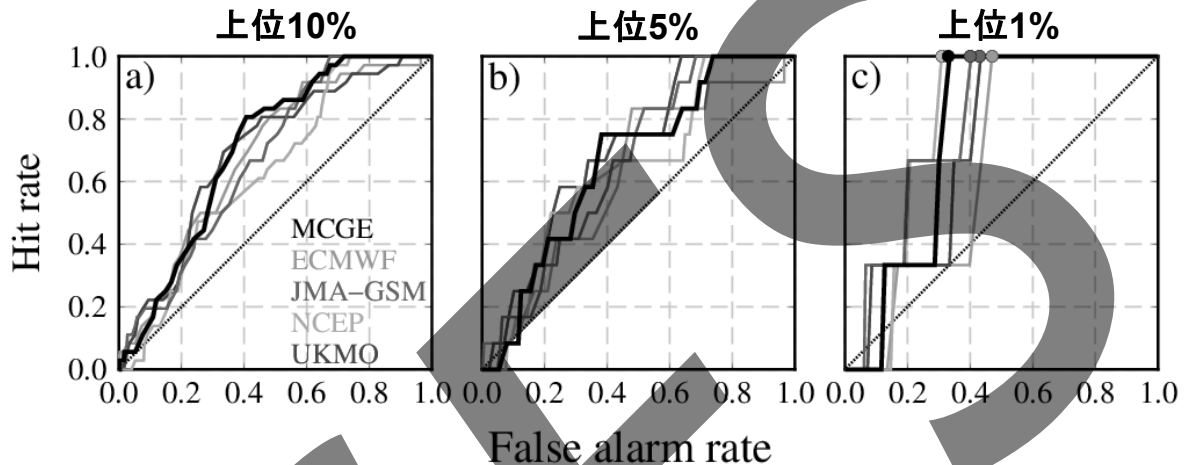
上位10%以上はそのほとんどで、LNGE,
LNES_gは有益な指標と判断できる。

的中率 (Hit) : FO / M

誤検出 (Fales alarm) : FX / X

領域予測の実際の大外し

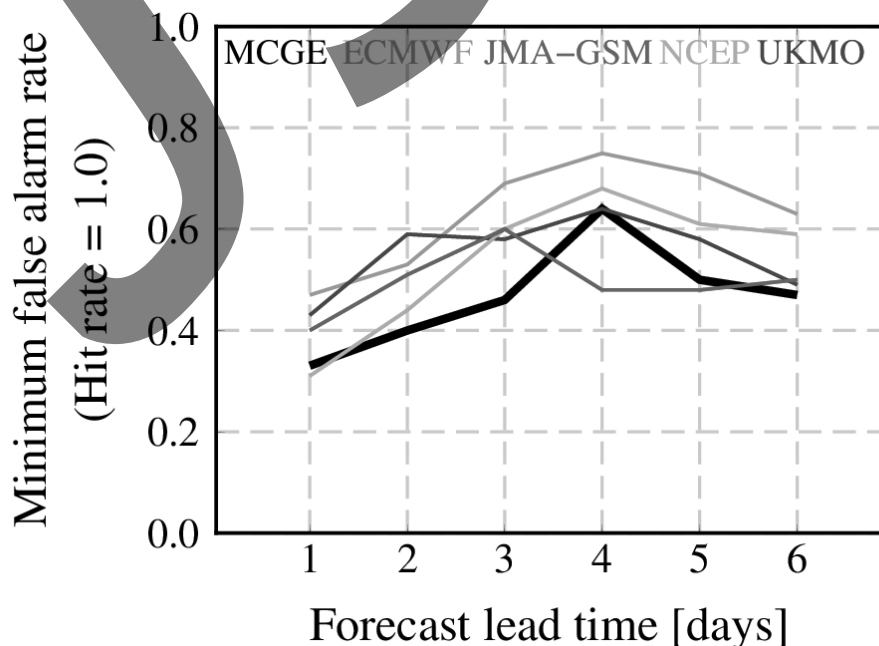
日平均LNES _g		大外し	大外し 無し	計
	大外し	的中 FO	空振り FX	FO+FX
	大外し 無し	見逃し XO	XX	XO+XX
	計	M	X	



国立研究開発法人 産業技術総合研究所

予報時間毎の的中率100%の時の誤検出率

- 1~3日先においてMCGEは低い誤検出率で予測の大外しを予見可能であった。



信頼区間情報等を含む日射量・発電量の確率予測の利用が検討されている中で、より極端な予測誤差をあらかじめ予見できれば、電力の安定供給にとって有益な情報となる。

特に、年に数回の極端な日射量の大幅外れに着目し、前日以前に予見できれば、電力の安定供給/経済性の高い運用に貢献できる。

主要成果

- 対数グランドアンサンブルスプレッド(LNES_g)とMSMの予測誤差($|Fc|$)には特に冬季で良い相関がみられた。
- ROCスコアはより極端な大幅外れ(高 $|Fc|$)において高い。
- ROCスコアは、的中率が100%における誤検出率は複数予測機関を利用したMCGEが最も低い。

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

ご清聴ありがとうございました

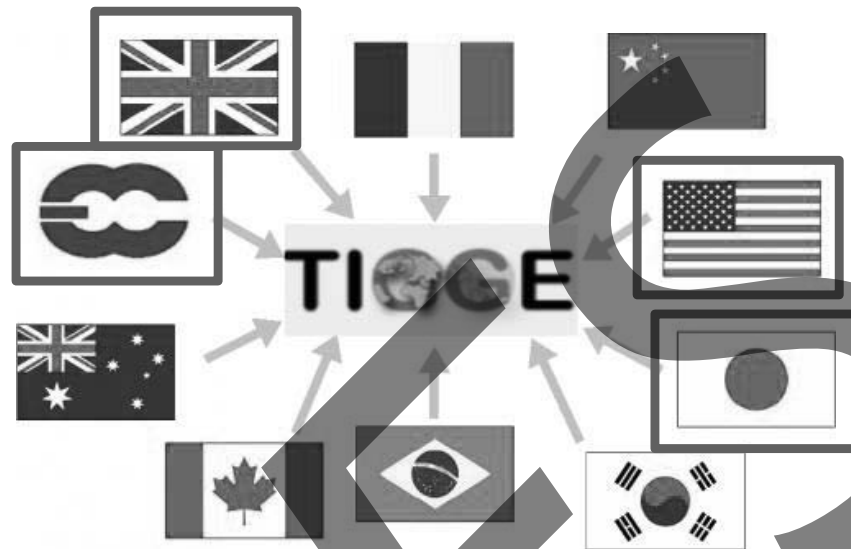
以下、補足スライド

補足: 複数予報機関の全球アンサンブル予測データセット

- 世界10の予報機関全球アンサンブル予測データのアーカイブ
- 最長で2005～現在 2～3日遅れで配信 (商用利用不可)

商用利用可能な予報機関はECMWF(有償), NCEP(無償)。

- 本研究は、日射量を公開している4つの機関を利用(赤枠)



*TIGGE(The International Grand Global Ensemble)