

太陽光発電量予測のための 東北地方における気象庁メソモデルの 日射量予測誤差と雲のタイプの出現頻度

大竹 秀明* 下瀬 健一 Joao Gari da Silva Fonseca Jr.

高島 工 大関 崇

((独) 産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター)

山田 芳則

(気象研予報一研)

第7回 ヤマセ研究会 第2部 (14:30 - 15:30)

場所: 弘前大学大学院

理工学研究科1号館

2013.3.7(木)

研究目的

気象要素(日射量、気温、スペクトル、雲量...) → 太陽光発電電力の主な変動要因

日射量の予測

今後、太陽光発電(PV)システムを大量に導入することを考えると

太陽光発電電力の推定や他の発電システムと連帯した**電力系統の安定化**を図るために必要

メソ数値予報モデル(MSM:防災気象情報として利用)

- ☑ MSMの翌日の発電量予測へ利用(～30分の時間間隔)
- ☑ 地上の観測値に比べてどのくらいの予測誤差が含まれているのかを把握する必要
- ☑ 太陽光発電システムでは**より詳細な時間・空間的な予測誤差の検証**が求められる
- ☑ 予測値+予測誤差情報(誤差幅:季節特性、地域特性、信頼性))
 - 予測誤差の検証
 1. 気象分野:モデルの改良
 2. 産業分野:発電量予測の誤差情報

目的

MSMで予測された日射量について地上観測データを用いた予測精度の検証

-東北地方における日射量予測特性

-予測が大きく外れる場合の雲のタイプとその状態

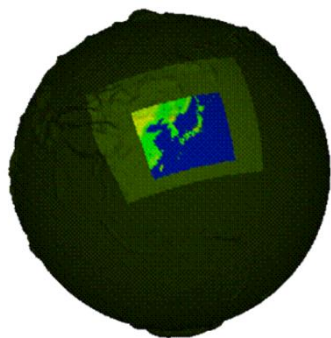
解析データ

● 日射量観測データ:

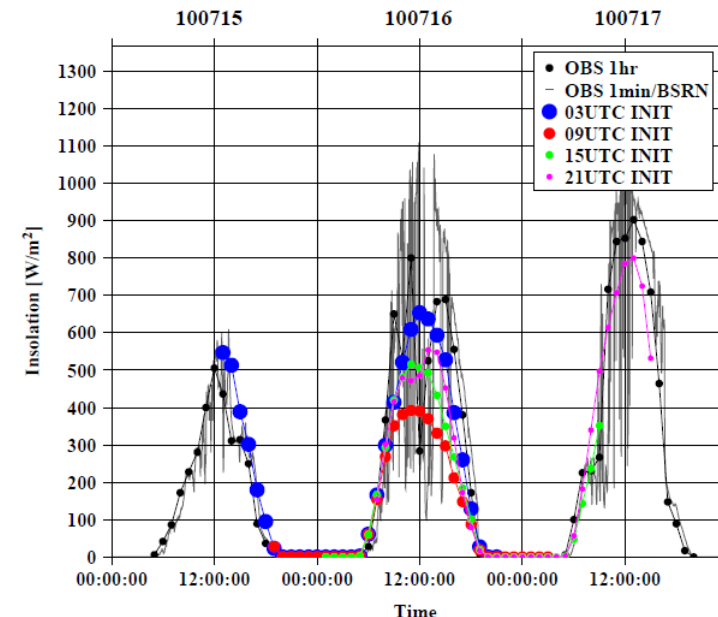
- 気象庁各気象官署で観測された全天日射量 (熱電堆式全天日射計; 時別値)
- 雲の目視観測(09,15時)

● メソモデル(MSM)

計算領域



日本周辺
 水平解像度 5km
 水平721x577格子
 鉛直50層
 1日8回
 15時間予報
 (初期時刻 : 3, 9, 15, 21時)
 33時間予報
 (初期時刻 : 0, 6, 12, 18時)

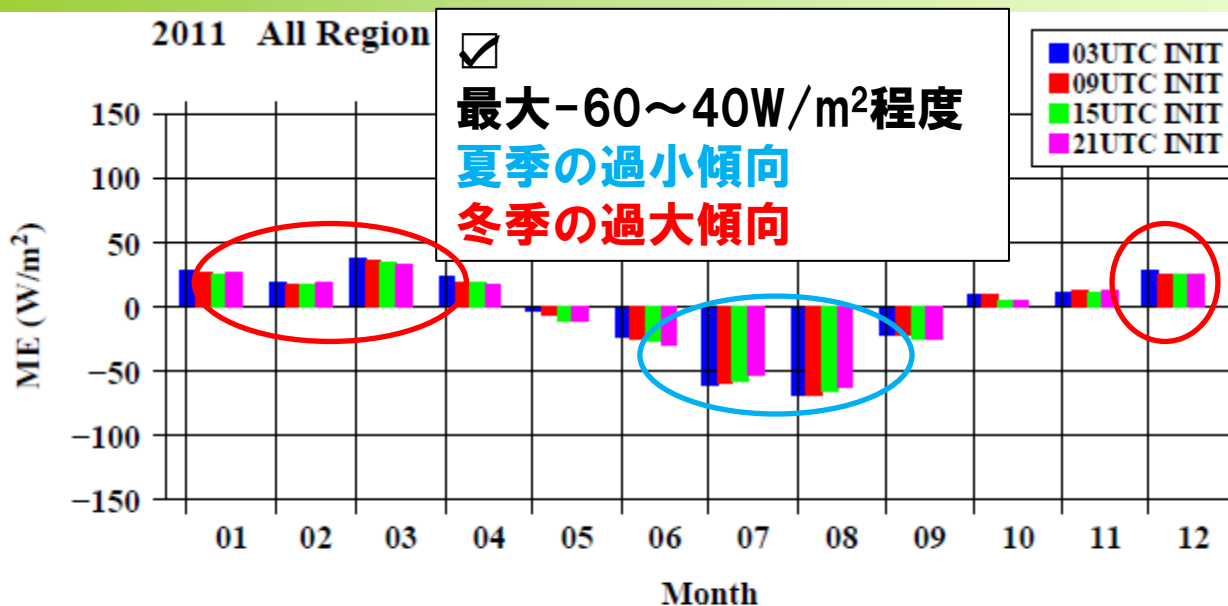


太陽光発電では前日に
 発電量予測が必要

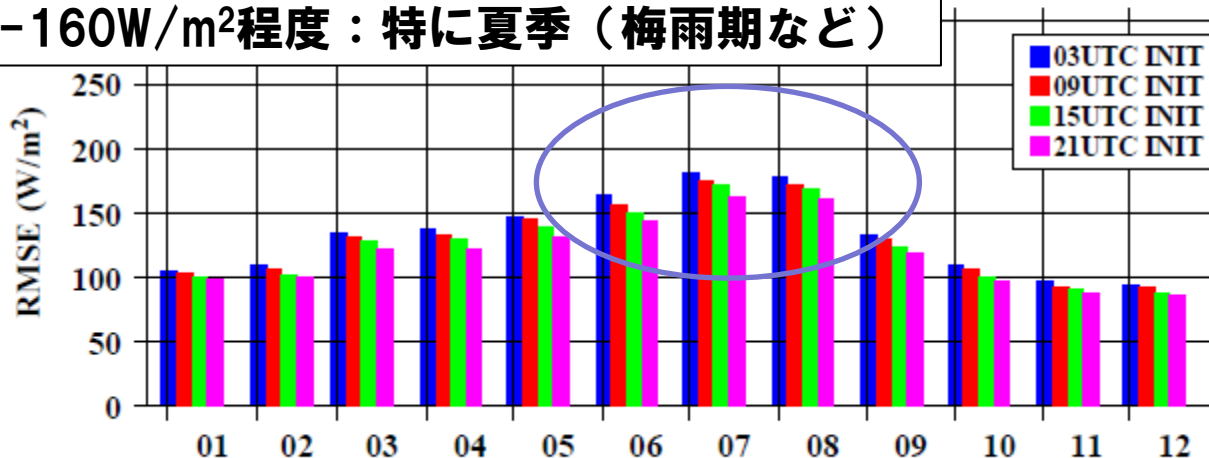
JMA-NHM (気象庁非静力学モデル) の現業版

● 解析期間: 2008年-2011年(4年間)

MSMの初期値を変えた場合の予測誤差 (参考: 電気学会B部門大会; 大竹ら、2012)



約90-160W/m²程度：特に夏季（梅雨期など）



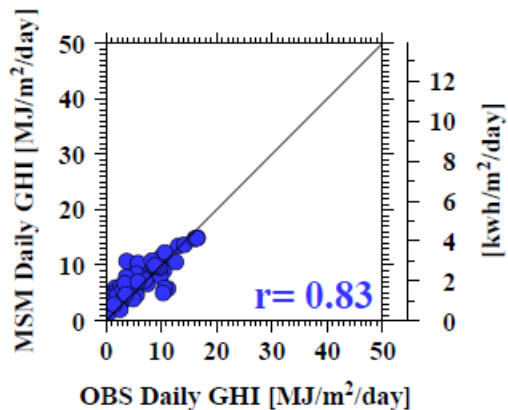
■ どの月においても21UTC（日本時間6時）初期値：予測誤差が軽減

東北地方 2011年 冬季(DJF)

2011 DJF akita

秋田

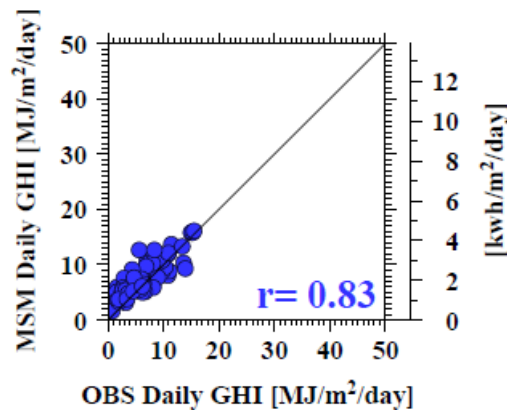
03UTC INIT



2011 DJF aomori

青森

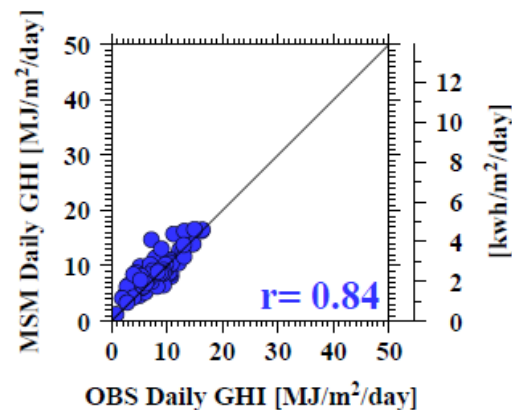
03UTC INIT



2011 DJF morioka

盛岡

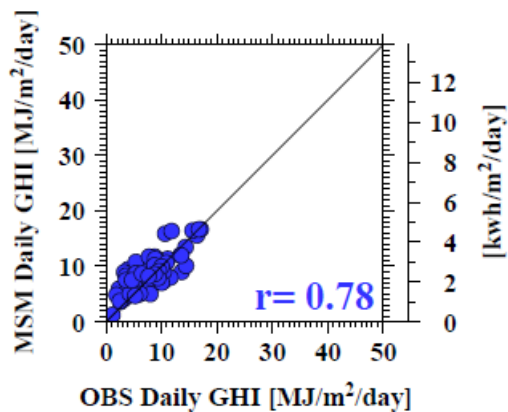
03UTC INIT



2011 DJF yamagata

山形

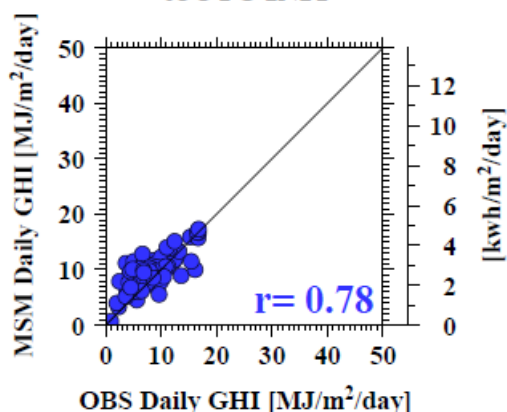
03UTC INIT



2011 DJF fukushima

福島

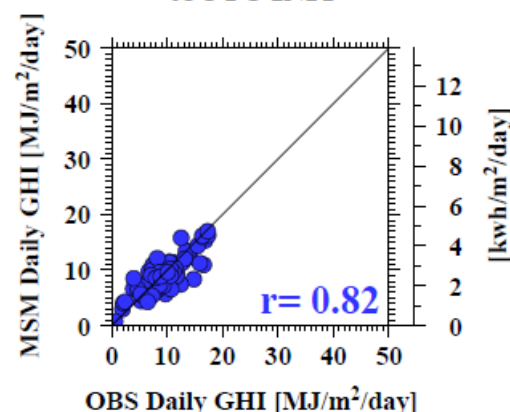
03UTC INIT



2011 DJF sendai

仙台

03UTC INIT

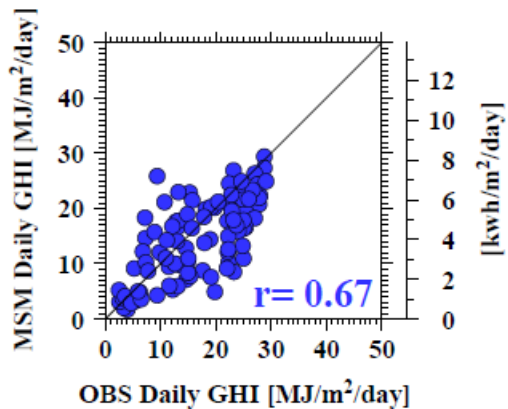


東北地方 2011年 夏季(JJA)

2011 JJA akita

秋田

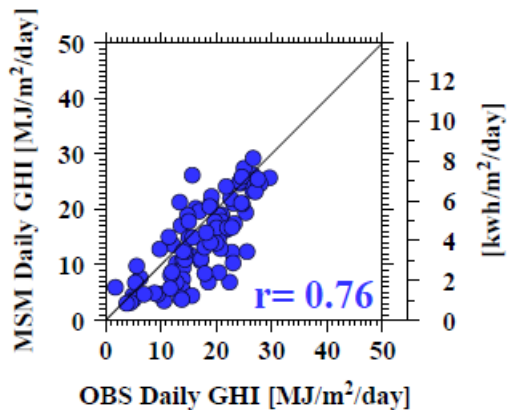
03UTC INIT



2011 JJA yamagata

山形

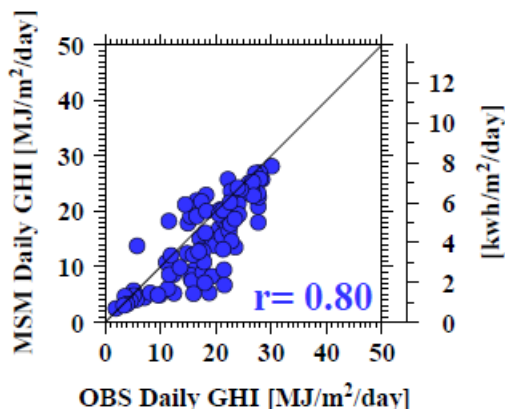
03UTC INIT



2011 JJA aomori

青森

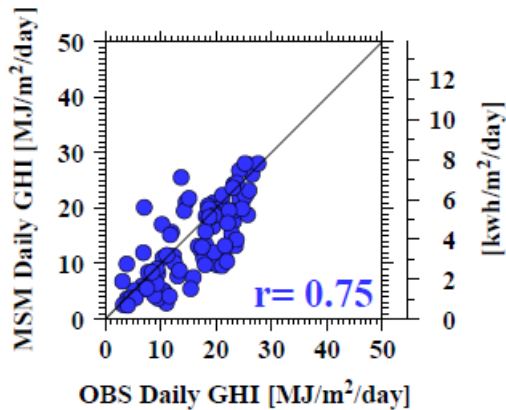
03UTC INIT



2011 JJA fukushima

福島

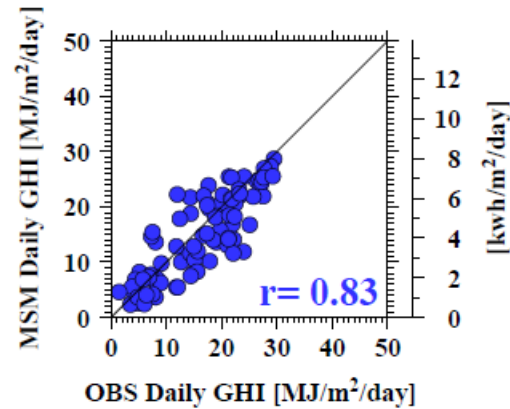
03UTC INIT



2011 JJA morioka

盛岡

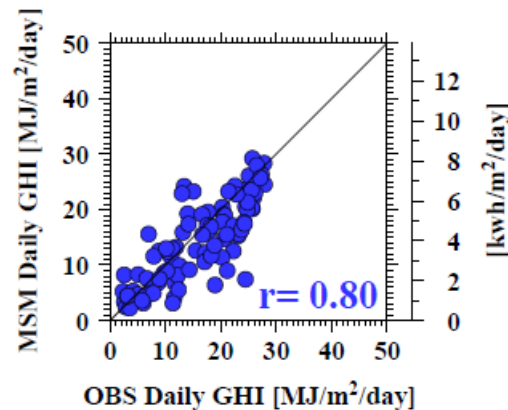
03UTC INIT



2011 JJA sendai

仙台

03UTC INIT



雲の目視観測の解析

予測が外れた時の「雲のタイプ」の出現頻度
どのような雲の予測が難しいのか？

解析目的と方法

○ 通年でどのような雲が出現し、予測過大、過小の時はどのような雲が出現していたかを調査。目視観測(気象庁原簿データ)からまとめられた「雲のタイプ」と「雲の状態」を統計的に解析。

■ 「雲のタイプ・状態」の出現頻度を通年、予測過大、予測過小の3つに分類

■ 予測過大、過小の定義: 予測誤差($I_{fcst} - I_{obs}$)を大気外日射量(I_{top})で規格化して0.2を超えたものを予測過大、もしくは過小と定義

定義式
$$\left| \frac{I_{fcst} - I_{obs}}{I_{top}} \right| > 0.2$$

- 目視観測時間: 09, 15JST(前後1時間を含めた3時間を対象)

■ 地点: 青森、秋田、盛岡、山形、仙台、福島の6地点の気象官署

■ 期間: 2008年-2011年(4年間)

「雲のタイプ」



巻雲(Ci)



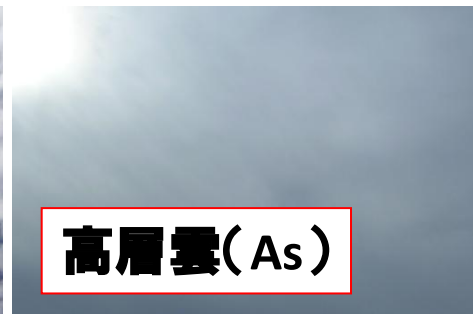
巻積雲(Cc)



巻層雲(Cs)



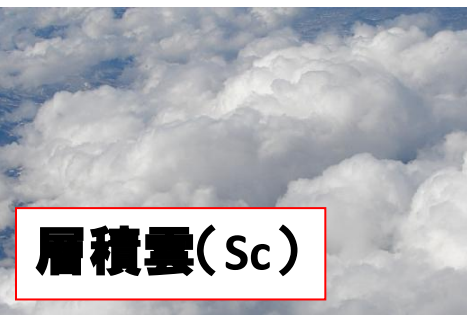
高積雲(Ac)



高層雲(As)



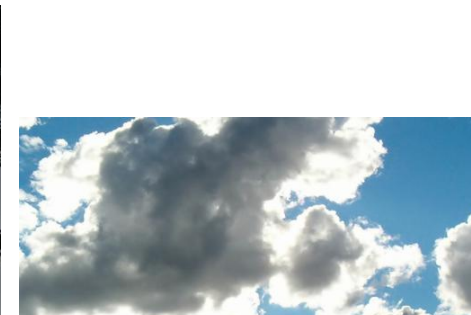
乱層雲(Ns)



層積雲(Sc)



層雲(St)



積雲(Cu)



積乱雲(Cb)

東北地方の雲タイプの出現頻度(%)

通年の場合

| 2011_09JST | Ci | Cc | Cs | Ac | As | Ns | Sc | St | Cu | Cb | NO | Num |
|------------|------|-----|-----|------|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|
| Aomori | 29.9 | 1.1 | 1.1 | 32.7 | 2.7 | 0.0 | 14.3 | 25.0 | 61.3 | 18.7 | 4.0 | 364 |
| Akita | 30.8 | 1.9 | 3.3 | 44.0 | 4.1 | 0.8 | 18.7 | 23.6 | 67.3 | 18.1 | 3.0 | 364 |
| Morioka | 34.6 | 2.5 | 2.5 | 26.4 | 4.7 | 0.3 | 19.2 | 25.5 | 65.4 | 14.6 | 7.0 | 364 |
| Sendai | 39.3 | 3.8 | 2.2 | 40.9 | 6.3 | 1.4 | 29.7 | 22.5 | 61.3 | 12.1 | 5.0 | 364 |
| Fukushima | 40.7 | 1.1 | 1.6 | 37.9 | 7.7 | 0.8 | 34.6 | 22.3 | 62.9 | 8.0 | 7.0 | 364 |
| Yamagata | 36.0 | 1.4 | 1.6 | 38.7 | 4.4 | 0.8 | 17.0 | 25.5 | 71.4 | 9.9 | 8.0 | 364 |

冬季(DJF) 日射量 予測過大の場合

| 2011_09JST | Ci | Cc | Cs | Ac | As | Ns | Sc | St | Cu | Cb | NO | Num |
|------------|------|------|-----|------|-----|-----|------|------|-------|------|-----|-----|
| Aomori | 6.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.7 | 0.0 | 6.7 | 6.7 | 60.0 | 53.3 | 0.0 | 15 |
| Akita | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.0 | 0.0 | 0.0 | 10.0 | 15.0 | 50.0 | 65.0 | 0.0 | 20 |
| Morioka | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.9 | 0.0 | 0.0 | 5.9 | 5.9 | 64.7 | 58.8 | 0.0 | 17 |
| Sendai | 33.3 | 22.2 | 0.0 | 33.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | 55.6 | 0.0 | 9 |
| Fukushima | 27.8 | 0.0 | 0.0 | 11.1 | 5.6 | 0.0 | 22.2 | 16.7 | 61.1 | 50.0 | 0.0 | 18 |
| Yamagata | 12.5 | 0.0 | 0.0 | 18.8 | 0.0 | 0.0 | 6.2 | 37.5 | 68.8 | 50.0 | 0.0 | 16 |

東北地方の雲タイプの出現頻度(%)

通年の場合

| 2011_09JST | Ci | Cc | Cs | Ac | As | Ns | Sc | St | Cu | Cb | NO | Num |
|------------|------|-----|-----|------|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|
| Aomori | 29.9 | 1.1 | 1.1 | 32.7 | 2.7 | 0.0 | 14.3 | 25.0 | 61.3 | 18.7 | 4.0 | 364 |
| Akita | 30.8 | 1.9 | 3.3 | 44.0 | 4.1 | 0.8 | 18.7 | 23.6 | 67.3 | 18.1 | 3.0 | 364 |
| Morioka | 34.6 | 2.5 | 2.5 | 26.4 | 4.7 | 0.3 | 19.2 | 25.5 | 65.4 | 14.6 | 7.0 | 364 |
| Sendai | 39.3 | 3.8 | 2.2 | 40.9 | 6.3 | 1.4 | 29.7 | 22.5 | 61.3 | 12.1 | 5.0 | 364 |
| Fukushima | 40.7 | 1.1 | 1.6 | 37.9 | 7.7 | 0.8 | 34.6 | 22.3 | 62.9 | 8.0 | 7.0 | 364 |
| Yamagata | 36.0 | 1.4 | 1.6 | 38.7 | 4.4 | 0.8 | 17.0 | 25.5 | 71.4 | 9.9 | 8.0 | 364 |

夏季(JJA) 日射量 予測過小の場合

| 2011_09JST | Ci | Cc | Cs | Ac | As | Ns | Sc | St | Cu | Cb | NO | Num |
|------------|------|------|-----|------|-----|-----|------|------|-------|-----|-----|-----|
| Aomori | 68.8 | 6.2 | 0.0 | 81.2 | 6.2 | 0.0 | 18.8 | 18.8 | 68.8 | 0.0 | 0.0 | 16 |
| Akita | 86.7 | 13.3 | 0.0 | 86.7 | 0.0 | 0.0 | 20.0 | 6.7 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 15 |
| Morioka | 54.5 | 27.3 | 9.1 | 72.7 | 0.0 | 0.0 | 18.2 | 18.2 | 81.8 | 0.0 | 0.0 | 11 |
| Sendai | 73.7 | 21.1 | 0.0 | 73.7 | 0.0 | 0.0 | 5.3 | 10.5 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 19 |
| Fukushima | 72.2 | 5.6 | 0.0 | 66.7 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | 16.7 | 94.4 | 0.0 | 0.0 | 18 |
| Yamagata | 73.7 | 5.3 | 0.0 | 57.9 | 0.0 | 0.0 | 5.3 | 0.0 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 19 |

「雲の状態」

雲の状態

| コード | CH (上層雲) | CM (中層雲) | CL (下層雲) |
|-----|---------------------------|-------------------|--------------------|
| 0 | Ci、Cc 及び Cs なし | Ns、As 及び Ac なし | Cu、Cb、Sc 及び St なし |
| 1 | 薄い毛状の Ci が他の Ci より多い | 薄い As(太陽・月がわかる) | 晴天時の Cu、ほつれ・盛上りがある |
| 2 | 濃い Ci と房状 Ci が他の Ci より多い | 厚い As、あるいは Ns | 中程度以上に発達した Cu |
| 3 | Cb からできた濃い Ci | 薄い Ac(太陽・月がわかる) | 雲頂が羽毛・かなとこ状でない Cb |
| 4 | 地平線から空に広がりつつある Ci | 外観が絶えず変わる Ac | Cu が広がってできた Sc |
| 5 | 地平線上 45° 以上に広がっていない Cs | 地平線から空に広がりつつある Ac | Cu が広がったものではない Sc |
| 6 | 地平線上 45° 以上に広がっている Cs | Cu、Cb が広がってできた Ac | St、St のちぎれ雲 |
| 7 | 全天をおおう Cs | Ac または Ac と As、Ns | 悪天の際のちぎれ雲、Cu・St |
| 8 | 空に広がる傾向のない Cs | 塔状またはふさ状の Ac | 雲底の高さが違う Cu と Sc |
| 9 | Cc のみ、または Cc が Ci・Cs より多い | こんとんとした陰悪な空模様 | 雲頂が羽毛状でかなとこ状の Cb |
| 15 | 不明 | 不明 | 不明 |

「地上気象観測統計値ファイルフォーマット表」気象庁観測部（2011）

- ・雲のタイプ
- ・ // 時間変化
- ・ // 広がり方
- ・ // 量

東北地方の雲の状態の出現頻度(%)

冬季(DJF) 日射予測過大

不明

| 2011_09JST | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 15 | Num | |
|------------|------|-----|------|-----|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|----|
| 上層雲 | | | | | | | | | | | | | |
| Aomori | 0.0 | 6.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 93.3 | 15 | |
| Akita | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | 20 | |
| Morioka | 41.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0. Ci,Cc及びCsなし | | | | | 0.0 | 0.0 | 58.8 | 17 |
| Sendai | 33.3 | 0.0 | 33.3 | 0.0 | | | | | | 0.0 | 0.0 | 33.3 | 9 |
| Fukushima | 27.8 | 5.6 | 22.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 44.4 | 18 | |
| Yamagata | 6.2 | 6.2 | 6.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 81.2 | 16 | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------|-----|-----|------|-----------------|-----|-----|------|-----|-----|------|------|----|
| 中層雲 | | | | | | | | | | | | | |
| Aomori | 6.7 | 0.0 | 6.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 86.7 | 15 | |
| Akita | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0. Ns, As及びAcなし | | | | | 0.0 | 0.0 | 95.0 | 20 |
| Morioka | 35.3 | 0.0 | 0.0 | 5.9 | | | | | | 0.0 | 0.0 | 58.8 | 17 |
| Sendai | 33.3 | 0.0 | 0.0 | 22.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 11.1 | 0.0 | 0.0 | 33.3 | 9 | |
| Fukushima | 44.4 | 0.0 | 5.6 | 11.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 38.9 | 18 | |
| Yamagata | 12.5 | 0.0 | 0.0 | 12.5 | 0.0 | 0.0 | 6.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 68.8 | 16 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------|-----|------|------|------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|----|
| 下層雲 | | | | | | | | | | | | |
| Aomori | 0.0 | 0.0 | 40.0 | 53.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.7 | 0.0 | 0.0 | 15 |
| Akita | 0.0 | 0.0 | 25.0 | 65.0 | 0.0 | 5.0 | 0.0 | 0.0 | 5.0 | 0.0 | 0.0 | 20 |
| Morioka | 0.0 | 0.0 | 35.3 | 58.8 | 0.0 | 5.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17 |
| Sendai | 0.0 | 11.1 | 33.3 | 55.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 9 |
| Fukushima | 0.0 | 0.0 | 33.3 | 50.0 | 0.0 | 11.1 | 5.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18 |
| Yamagata | 0.0 | 0.0 | 31.2 | 50.0 | 0.0 | 0.0 | 12.5 | 0.0 | 6.2 | 0.0 | 0.0 | 16 |

2. 中程度以上に発達したCu
 3. 雲頂が羽毛・かなとこ状でないCb

東北地方 雲の状態の出現頻度(%)

夏季(JJA) 日射予測過小

1. 薄い毛状のCiが他のCiより多い
2. 濃いCiと房状Ciが他のCiより多い

不明

| 2011_09JST | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 15 | Num |
|------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| 上層雲 | | | | | | | | | | | | |
| Aomori | 16.7 | 16.7 | 33.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 33.3 | 12 |
| Akita | 0.0 | 14.3 | 42.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.1 | 35.7 | 14 |
| Morioka | 0.0 | 42.9 | 42.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.3 | 7 |
| Sendai | 0.0 | 16.7 | 66.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | 6 |
| Fukushima | 14.3 | 21.4 | 42.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 21.4 | 14 |
| Yamagata | 15.4 | 15.4 | 30.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 38.5 | 13 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------|------|-----|------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|----|
| 中層雲 | | | | | | | | | | | | |
| Aomori | 16.7 | 0.0 | 8.3 | 58.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | 12 |
| Akita | 14.3 | 0.0 | 0.0 | 57.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14 |
| Morioka | 42.9 | 0.0 | 0.0 | 42.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7 |
| Sendai | 16.7 | 0.0 | 16.7 | 66.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6 |
| Fukushima | 28.6 | 0.0 | 0.0 | 42.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14 |
| Yamagata | 30.8 | 0.0 | 0.0 | 30.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 38.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 13 |

0. Ns,As及びAcなし
3. 薄いAc (太陽・月がわかる)

| | | | | | | | | | | | | |
|------------|-----|------|------|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|----|
| 下層雲 | | | | | | | | | | | | |
| Aomori | 0.0 | 25.0 | 58.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8.3 | 8.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 12 |
| Akita | 0.0 | 21.4 | 64.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.3 | 0.0 | 0.0 | 14 |
| Morioka | 0.0 | 42.9 | 42.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.3 | 0.0 | 0.0 | 7 |
| Sendai | 0.0 | 0.0 | 66.7 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | 0.0 | 0.0 | 6 |
| Fukushima | 0.0 | 21.4 | 64.3 | 0.0 | 0.0 | 7.1 | 0.0 | 0.0 | 7.1 | 0.0 | 0.0 | 14 |
| Yamagata | 0.0 | 30.8 | 69.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 13 |

1. 晴天時のCu,ほつれ・盛上りがある
2. 中程度以上に発達したCu

まとめ 東北地方における日射予測と雲のタイプ

○ 季節特性

- ME：最大 $-40\sim 60\text{W}/\text{m}^2$ 程度；夏季の過小傾向、冬季の過大傾向
- RMSE：約 $90\sim 160\text{W}/\text{m}^2$ 程度 夏季（梅雨期など）：大
- 予測誤差：予測のリードタイムが短い方が予測誤差が小さくなることを確認

○ 地域特性

- 同様な傾向は東北地方にもみられる。東北地方内では大きな違いなし

○ 雲のタイプと状態の出現頻度

- 過大予測時：Cu, Cb (Sc, St)
- 過小予測時：Ci, Ac, Cu (Sc, St)

⇒ 日射量予測の改善のためにはモデルの雲の表現