

# MODIS 観測データを用いた日照特性分布に関する研究

環境リモートセンシング研究室 廣世 航  
指導教員 力丸 厚, 高橋一義, 坂田健太

## 1. 研究背景と目的

日照条件の空間分布を評価するものとして、全天日射量分布図がある。日射量分布図は太陽光による発電・気象・農業関係者などからも広く望まれている。日射量分布図の作成方法としては、メッシュ気候値を用いたものや、静止気象衛星ひまわり (GMS) の可視画像を用いた技術などがある。GMS 可視光画像を用いて全天日射量分布図を作成する場合、GMS 画像と地上観測全天日射量の関係から日射量を推定する。GMS センサの地上分解能は 1.25 km であるため、1.25km 規模での日射量抽出となる。現在、可視光画像では、地上分解能がより高く多頻度の観測を行っている衛星として NASA の Aqua がある。Aqua に搭載されている MODIS センサは、最高地上分解が 250m である。従って、GMS を利用した場合に比べ、より小規模での日照特性分布推定が期待できる。Aqua は一日の昼と夜に 2 回の観測を行うが、夜の可視光画像は使えない。従って、衛星画像と全天日射量の対応を調べるには地上観測地点数が多い方が望ましい。全天日射量の観測を行っている气象台や測候所の数に比べ、日照時間を観測している AMeDAS 観測地点数は遥かに多い。そこで、本研究では日照特性として日照時間分布に着目し、MODIS 可視光画像と AMeDAS の日照時間データの関係から日照時間の空間分布を推定し、日照特性分布を評価した。

## 2. 対象領域と解析データ

### 2-1. 対象領域と対象日

長野と関東地方は北陸地方に比べて日照時間が比較的長い<sup>2)</sup>。これらの事から日照時間が一様ではなく地域差があると考えられるため、対象領域は北信越地方と関東地方を合わせた領域を用いた。図 1 に、対象領域と緯度経度の範囲を示した。対象期間は、雲と雪の判別が必要の無い夏期が望ましいため、2006 年 8 月とした。また、衛星データは対象領域が全て観測されているデータを用いた。

2-2. 日照時間データと衛星・データセットの諸元対象領域内に設置されている AMeDAS 観測地点の中から 31 地点を選定し、その日照時間を用

いた。図 1 に選定した AMeDAS 観測地点の場所、表 1 に衛星・データセット諸元を示す。

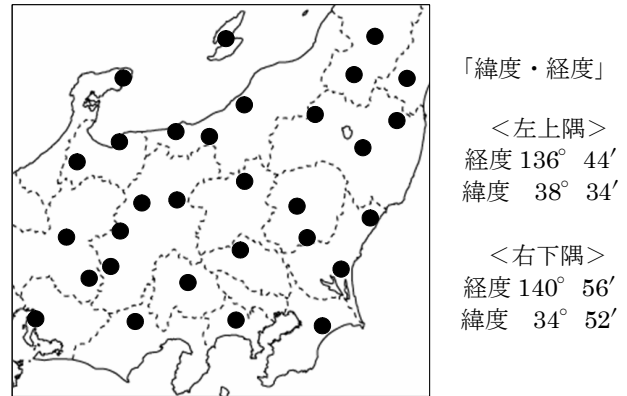


図 1 選定 AMeDAS 観測地点の場所

表 1 衛星・データセット諸元

観測衛星	EOS/Aqua	
観測センサ	MODIS	
バンド	1	0.620 ~ 0.670 $\mu\text{m}$
	2	0.841 ~ 0.876 $\mu\text{m}$
地上分解能	250m	
観測時間	11 時~14 時	

## 3. 解析方法

### 3-1. 解析概要

本研究の大まかな解析フローを図 2 に示す。解析フローの基本アルゴリズムは、雲で覆われている地表面は直射日光を遮るため日照時間が短くなると仮定した。まず、雲が選定 AMeDAS 地点の上空を覆っている割合を評価するものとして被雲率算出領域を設定し、被雲率を算出した。被雲率算出領域は、選定した AMeDAS 観測地点を中心に東西 6km、南北 3km の大きさでそれぞれ設定した。雲域判別閾値を用いて各選定 AMeDAS 観測地点 20 日分の積算被雲率を算出した。選定 AMeDAS 観測地点 20 日分の 1 時間日照時間と日積算日照時間を算出した。そして、20 日分の被雲率と 1 時間日照時間の関係、20 日分の被雲率と日積算日照時間の関係を調べて推定式を求めた。雲域判別閾値を用いて衛星画像から被雲率画像を作成した。作成した被雲率画像を 20 日分積算し、積算被雲率画像を作成した。積算被雲率画像を推定式により積算 1 時間日照時間推定分布図と積算日積算日照

時間推定分布図に変換した。そして、積算日照時間の推定分布図から日照分布特性を評価した。

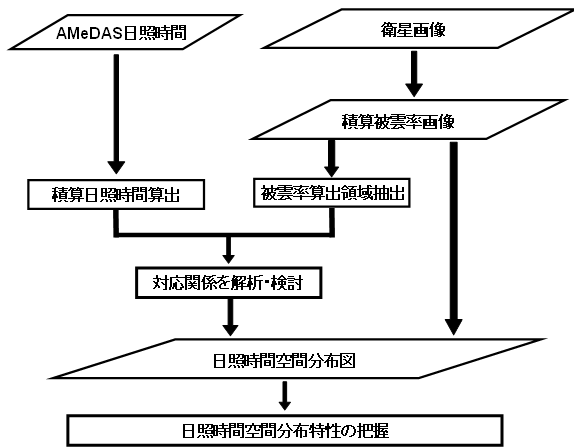


図2 解析フロー

### 3-2. AMeDAS 積算日照時間データ

AMeDASの積算日照時間は1時間値を積算した積算1時間日照時間と日積算値を積算した積算日積算日照時間の2つを算出した。積算1時間日照時間の算出に用いた1時間日照時間は、衛星観測時間の前後約30分間の10分間日照時間を積算する事で算出した。被雲率を平等に積算するには、選定 AMeDAS31 地点が全て衛星画像に含まれている必要がある。そのため、2006年8月の衛星画像で、積算に用いたのは20日分の画像とデータと日照時間データであった。

### 3-3. 被雲率算出領域の設定

MODIS 画像から得られる放射輝度情報は瞬間値である。そのため、雲の移動を考慮し、被雲率算出領域は南北よりも東西に長く選定した。また、他の近隣 AMeDAS 観測地点との間隔を考え、AMeDAS 観測地点を中心に東西6km、南北3kmで設定した。図3に被雲率算出領域の例を示す。

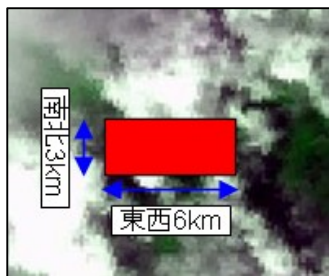


図3 被雲率算出領域

### 3-4.3 値化による積算被雲率の算出

衛星画像を晴領域・中間領域・雲領域に3値化するために、晴領域と雲領域の閾値を作成した。晴領域の閾値は、日照時間が1時間で、

目視により被雲率算出領域内に雲が無いと判断した領域内の最大画素値を111サンプル取得し、それらの中から晴の境界値を設定した。図4に晴サンプルの条件を満たした111のサンプル分布を示す。図4より、最大画素値が2541を超えると晴条件を満たすサンプル数が少なくなる。よって、本研究では、晴領域の閾値を2541とした。雲領域の閾値は、日照時間が0時間で、目視により被雲率算出領域内が全て雲であると判断した領域内の平均画素値を111サンプル取得し、それらの中から雲の境界値を設定した。図5に雲サンプルの条件を満たした111のサンプル分布を示す。図5より、平均画素値が6023を下回ると雲条件を満たすサンプル数が少なくなる。よって、本研究では、雲領域の閾値を6023とした。中間領域は晴領域にも雲領域にも当てはまらない画素値が2542~6022のものとした。20日分の衛星画像を作成した閾値を用いてそれぞれ3値化し、積算することで積算被雲率画像を作成した。また、選定 AMeDAS 地点付近に設定したそれぞれの被雲率算出領域についても積算し、選定地点ごとで積算被雲率を算出した。

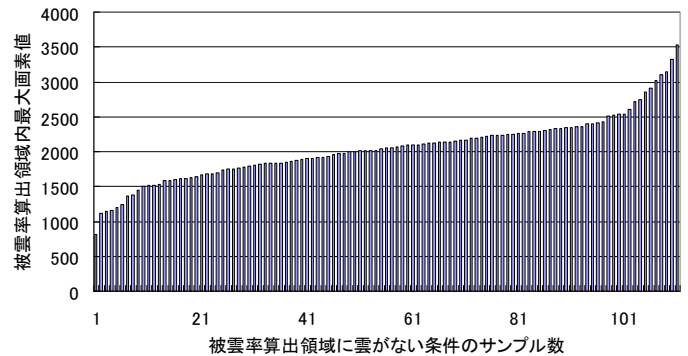


図4 晴サンプルの分布

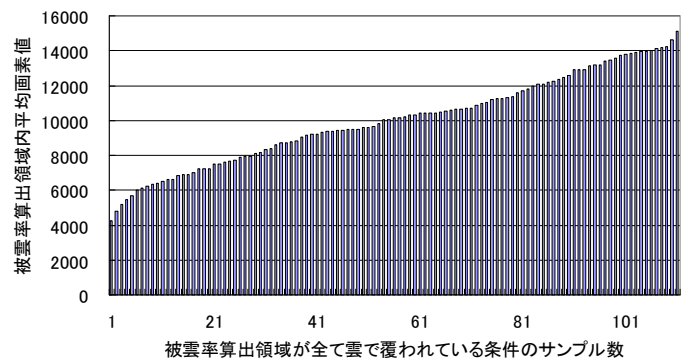


図5 雲サンプルの分布

### 3-5. 積算日照時間推定式の算出

AMeDAS 選定地点ごとに算出した積算被雲率と積算 1 時間日照時間・積算日積算日照時間の関係を調べて推定式を算出した。積算日積算日照時間の推定式を用いるためには、南中時付近の 1 時間日照時間の長短が日積算日照時間の長短と相関傾向にある必要がある。そのため、積算 1 時間日照時間と積算日積算日照時間の関係についても調べた。

### 3-6. 積算日照時間推定分布図の作成

作成した積算日照時間推定式を用いて、積算日雲率画像を積算 1 時間日照時間分布図と積算日積算日照時間分布図に変換した。そして、最後に水域マスクを用いて水域を取り除いた。

## 4. 解析結果

積算被雲率 ( $Ca$ ) と積算 1 時間日照時間 ( $Sh$ ) の関係から算出した推定式を式 (1)、散布図を図 3 に示す。積算被雲率と積算日積算日照時間 ( $Sd$ ) の関係から算出した推定式を式 (2) に示す。積算 1 時間日照時間 ( $Sh$ ) と積算日積算日照時間 ( $Sd$ ) の関係から算出した推定式を式 (3) に示す。積算被雲率と積算日積算日照時間の関係を図 6、積算被雲率と積算日積算日照時間の関係を図 7、積算 1 時間日照時間と積算日積算日照時間の関係を図 8 に示す。

$$Sh = k1 \times Ca + k2 \quad (1)$$

$$Sd = k3 \times Ca + k4 \quad (2)$$

$$Sh = k5 \times Sd + k6 \quad (3)$$

作成した積算 1 時間日照時間分布図を図 9、積算日積算日照時間分布図を図 10 に示す。図 9、図 10 より推定日照時間が目立って少ない推定となった場所は栃木県日光市土呂部、富士山、富山県立山などの山岳部であることがほとんどであった。また、長野県の北部、新潟県・富山県・石川県の平野部で日照時間が長い推定となった。地方レベルで見れば、関東地方は北陸地方よりも日照時間が短い推定となった。図 9 と図 10 を比較すると、推定積算 1 時間日照時間値の長短分布と推定積算日積算日照時間の長短分布に大きな差は見られなかった。しかし、積算日積算日照時間の方は積算 1 時間日照時間と比べて推定値が特に長い或いは短い領域が若干広がっている。日照時間が長い領域が多い推定となった県は、岐阜県・長野県・福島県（西部）などである。逆に日照時間が短い推定となった県は、富山県（南東部）・静岡県・千葉県・山梨県（東部）・茨城県・栃木県・宮城県（南西部）

などであった。

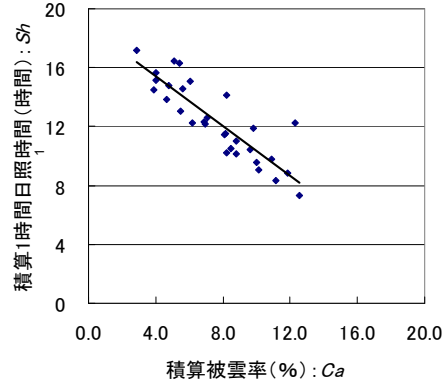


図 6 積算被雲率と積算 1 時間日照時間の関係

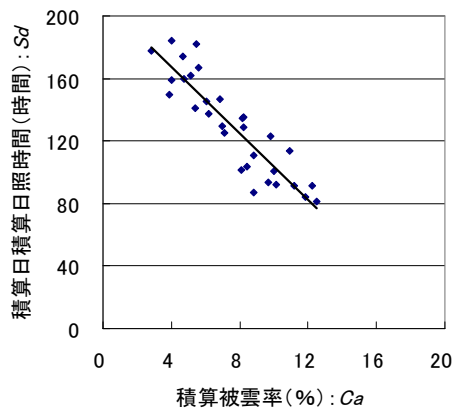


図 7 積算被雲率と積算日積算日照時間の関係

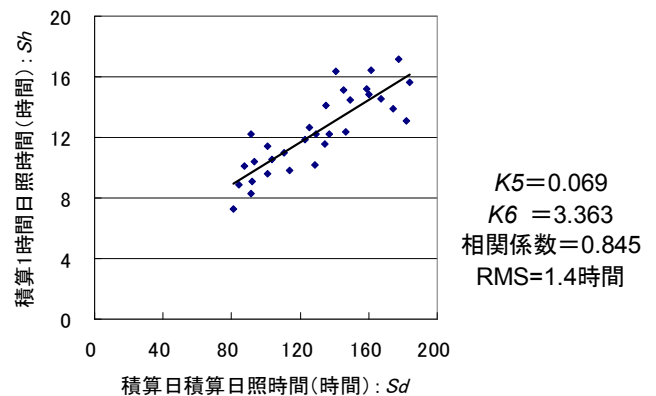
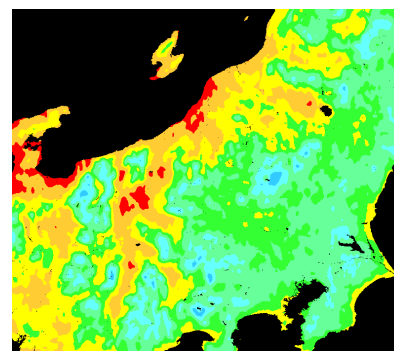


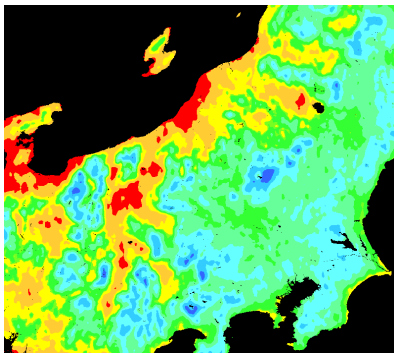
図 8 積算 1 時間日照時間と積算日積算日照時間の関係



2006年 8月 20日分

単位(時間)	色
6.0未満	青
6.0~8.0未満	水色
8.0~10.0未満	緑
10.0~12.0未満	黄緑
12.0~14.0未満	黄
14.0~16.0未満	オレンジ
16.0以上	赤

図 9 積算 1 時間日照時間分布推定図



2006年8月20日分

単位(時間)	色
50.0未満	青
50.0~70.0未満	水色
70.0~90.0未満	緑
90.0~110.0未満	黄緑
110.0~130.0未満	黄
130.0~150.0未満	オレンジ
150.0~170.0未満	赤
170.0以上	赤

図10 積算日積算日照時間分布推定図

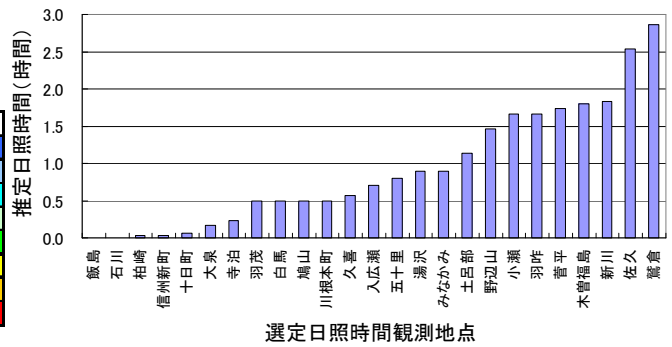


図13 積算日積算日照時間の実測値と推定値の差分

### 5. 推定積算日照時間の検証

検証用に AMeDAS (気象台・測候所を含む) 観測地点を別途 27 箇所選定し、積算日照時間の推定値と実測値を比較した。検証地点の分布と地形を図 11、積算 1 時間日照時間の実測値と推定値の差分を図 12、積算日積算日照時間の実測値と推定値の差分を図 13 に示す。図 12 と図 13 より、日照時間の推定値と実測値に差がほとんどない地点も存在したが、山岳地帯などの起伏が激しい地域では推定値と実測値に差が見られた。

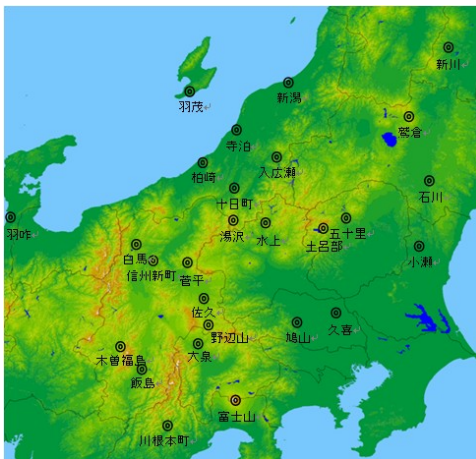
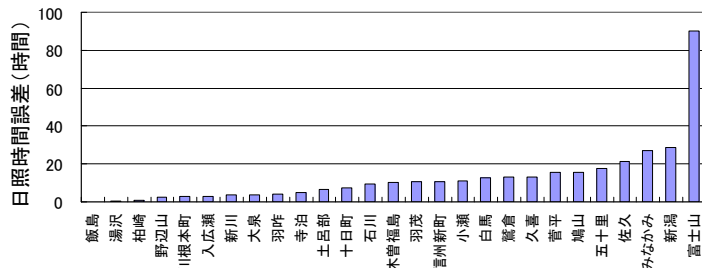


図11 検証地点の分布と地形



選定日照時間観測地点

図12 積算1時間日照時間の実測値と推定値の差分

### 6. 総括

本研究では、20 日分の積算日照時間と分解能 250m の衛星データを用いて積算日照時間空間分布を推定する事ができた。積算 1 時間日照時間を算出する際に用いた推定式の相関係数は 0.871, RMS は 1.3 時間となった。積算日積算日照時間の推定式は相関係数が 0.901, RMS は 38.3 時間となった。推定積算日照時間は、1 時間・日積算値ともに平均すると相対誤差 10% で日照時間を推定できた。検証では、日照時間の推定値と実測値に差がほとんどない長野県飯島のような地点も存在した。一方で特殊なケースではあるが、積算日積算日照時間の実測値と推定値に大差が見られる富士山のようなケースも存在した。富士山のようなケースは特殊であるが、山岳地帯などの起伏が激しい地域では実測値との差が大きかった。これに対しては、DEM データを用いて地形を考慮した被雲率算出領域の設定などが可能であると考えられる。また、衛星の観測角・太陽方位角・太陽天頂角の条件によっては、同地点でも画素値が異なってくる。そのため、これらの条件に合わせた動的閾値を作成する事で日照時間の推定制度を改善する事が可能であると考えられる。被雲率を算出する際には晴領域・雲領域・中間領域へ 3 値化した。しかし、3 値化ではなく更に多値化する事でより精度の高い日照時間推定が可能になると考える。他の年度についても引続き継続して解析を行えば、日射の好条件の場所に関するポテンシャルを評価できると考える。本研究で算出した日照時間値を日射量に換算すれば、太陽光発電・気象・農業分野での利用が期待出来る。

### 参考文献

- 1) 谷 宏, 低解像度衛星データの農業利用, 衛星リモートセンシング・セミナー in 北海道, 2005 年