

GMSによる全天日射量推定の可能性について

On the Possibility of Estimating Solar-Radiation from GMS

竹内邦良* ・ 中林俊尋** ・ 岸大貴***

By Kuniyoshi TAKEUCHI, Toshihiro NAKABAYASHI, Hiroki KISHI

Abstract

Solar-radiation is the key factor to estimate evapo-transpiration and to identify the process of land-atmosphere interactions. Its observation is, however, limited at the limited number of primary meteorological observatories in any country. This paper presents the fact that the GMS visible reflectivity information and the solar-radiation observed on the ground are linearly related. The GMS visible ray reflectivity data of June and September 1991 and the solar-radiation observations at 13 primary meteorological observatories in Japan are found to fit in simple linear regression with coefficient of determination being greater than 0.92. This shows the possibility of estimating global distribution of solar-radiation from geo-synchronous satellites.

Keywords: solar-radiation, GMS, visible ray reflectivity, cloudiness, IR brightness temperature

1. はじめに

日射量は、蒸発散量の推定、水およびエネルギー収支等を考える上で最も重要な要因の一つである。しかしこの観測は、全国に設置されている1300以上あるAMeDAS観測点のうちでも、全天日射は68カ所、直達日射は14ヶ所の気象官署による点観測が行われているにすぎず、全国的に詳細な日射量分布を把握することは難しい。これに対し、小池・佐渡ら(1990, 1991, 1995)はAMeDASの日照時間データからの推定を試みている。しかしながら、地球規模で見れば、熱帯・亜熱帯・砂漠・凍土帯や海域での日射量観測を行うことは到底困難である。そこで本研究では、衛星観測により日射量分布を求める方法を検討した。すなわち、GMS-4（ひまわり4号）によって観測されている赤外放射(IR)、可視光放射(VIS)と、実際に地上で観測されている全天日射(GL)・直達日射(DR)、雲量(C)の各データを比較し、その関係から日射量を推定する可能性を検討した。

衛星データを用いた日射量 Q_s の推定の試みとしては、木村・金(1990, 1991)による、GMS-IRから雲量Cを推定し、これと晴天時の日射量 I_0 を、日本近海の島等での地上観測値を用いて関係付け、 $Q_s = I_0 \cdot h(C)$ とする方法が提案されている。本論文で提案する方法は、GMS-IRから雲量を推定する過程を介さず、GMS-IR, VISから直接 Q_s を推定するものである。特にVISは、日射は夜間を考慮する必要がないから砂漠、積雪帯など雲の反射率に匹敵する地上反射がない場合は、IRを用いるよりも好都合であると考えられる。この理論的扱いについてはGantier et. al. (1980)、Brakke & Kanamasu (1981)等の研究がある。

2. 解析対象地点・対象日および使用データ

* 正会員	工博	山梨大学教授	土木環境工学科	(〒400 山梨県甲府市武田4-3-11)
** 学生員		山梨大学大学院	土木環境工学科	(同上)
*** 学生員		山梨大学工学部	土木環境工学科	(同上)

2.1. 解析対象地点・対象日

本研究における解析対象地点としては、全国68地点の気象官署のうち直達日射・全天日射の両方を観測している、札幌・根室・秋田・宮古・輪島・松本・館野・米子・潮岬・福岡・鹿児島・清水（足摺）・那覇の13地点を選出した（石垣島は今回使用したGMSデータの範囲外であるため除いた）。解析対象地点を図1に示す。解析対象日は雲による日射量減少の影響をみるため、地域的に降雨の見られた以下の2ケースを用いた。

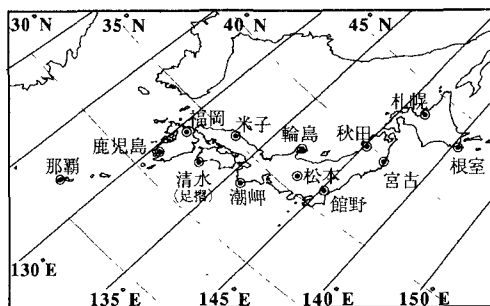


図1 観測対象地点とGMSデータ抽出範囲

(1)1991年6月20日：梅雨前線が北海道・沖縄を除く日本上空を通過し、列島各地で20mm前後の降雨があった。

(2)1991年9月19日：台風18号が日本列島に接近したために、房総半島上空にあった前線の活動が活発になり、関西から東北地方各地で20～30mmの豪雨に見舞われた。

2.2. 使用データ

(1) GMS-IR・VISデータ：1991年6月20日8～16時、および9月19日8～12, 14～16時の17シーンのGMS-IR（ $10.5\sim12.5\mu\text{m}$ ）、VIS（ $0.5\sim0.75\mu\text{m}$ ）データを、建設省土木研究所より提供頂いた。両データとも、5kmメッシュで、横601メッシュ（3005km）、縦401メッシュ（2005km）（図1）で表示されている。

IRは赤外輝度温度、VISは可視光の反射率である。反射率は、衛星から見た宇宙空間からの可視域の放射エネルギーを反射率0%、大気外太陽放射を地上からの反射率50%に相当する強度に弱めるブリズムを通して得られる放射エネルギーを50%とする直線関係を用いて、地上からの短波放射エネルギーを反射率に換算したもので、その値は、 $0\leq\text{VIS}\leq1$ である。

(2) 直達日射・全天日射データ：直達日射・全天日射データは、気象庁観測部輻射係より提供頂いた。両データとも1時間の積算値である。

(3) 雲量データ：雲量データは、全国のAMeDAS観測点のうち、155地点分（1991年）の地上気象観測データを記録したSDPデータ（地上気象観測編集（時日別）データ）記載の3時間毎データから日中の6, 9, 12, 15, 18の5データを用いた。ここに、雲量は、全天における雲の占める割合を目視により、1～10段階に分けて観測したものである。

3. 各変量の日変化

図2は、衛星データのある時間のみ抽出した、全天日射・直達日射・雲量・衛星データの時系列変化を示したものである。これらの時系列の変動は、各地域の天気の状態を明瞭に反映している。

(a) 一日中晴天であった地点（福岡・清水（足摺）・鹿児島・那覇）：これらの地点では雲量が少ないため、直達・全天日射が南中時の12時頃ピークを迎える山型をしている。IRは高輝度温度、VISは低反射率でほぼ一定の値を示している。しかし、福岡や鹿児島では日中の日射量が多い時に0.5以上の雲量があり、他の2地点と雲量の時系列変化は一致していない。

(b) 一日中曇天であった地点（秋田・宮古・館野・米子）：これらの地点では、日中でも直達日射は0、全天日射も $0.2\text{MJ}/\text{m}^2/\text{h}$ と低い。IRは低輝度温度、VISは0.4または0.5前後での変動が見られ、両データの変動は関連していて、日射量の微小な変化にも現れている。この日には、幾つかの筋状の雲が次々と上空を通過している衛星情報が得られており、これが変動の原因と思われる。

(c) 次第に天気が回復していった地点（輪島・松本・潮岬）：潮岬は8時、輪島は9時、松本は12時に直達・全天日射の上昇が始り、雲量はそれと反対に減少する。この時VISは日射が上昇に転ずるのと同時刻に下降を始めるが、IRは日射が上昇に転ずる時刻より約2時間前に上昇が始まっている。理由は以下の(1)の通り。

(d) 次第に天気は崩れていった地点(札幌・根室)：5時頃日の出と共に上昇し始めた日射量が、9時頃から下降を始める。根室においては直達・全天日射、IRが共に下降、VISは上昇を始め、それぞれの関連が見られる。雲量については、日射量の変動時のデータが欠測のため、関連性は分からない。

図2の結果から、

(1) IRと日射量の時系列が変動し始める時間帯は天気は崩れていく時(図2(d) D-D')には合致し、天気が回復していく時(図2(c) C-C')には合致しない。これは天気が崩れる時は、厚い雲が移流してきてIR輝度温度が低くなると同時に、太陽光が遮られて日射量は減少するが、天気が回復する時には、雨をもたらしていた高い雲が衰えてIR輝度温度は上昇するが、低い雲が残っていて、その雲に遮られて日射の回復は遅れるためではないかと考えられる。

(2) VISは、天気が回復する時も、崩れる時も、日射量の変動とほぼ同時に変化する。

(3) 雲量の変動は、よく日射量の変動と合致している。

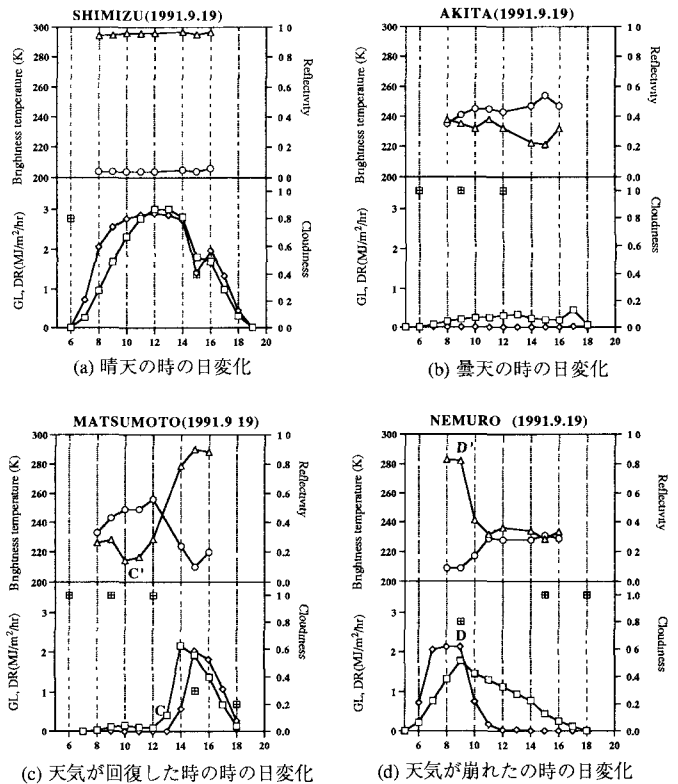


図2 各変量の日変化と天候

4. GMS-IR,VISデータによる日射量推定の可能性

図3は直達日射の衛星観測時間帯合計値(8-16時)を、また図4は同じく全天日射量合計値を縦軸に、時間帯の平均IR・同VISを横軸にして、各観測点での値をまとめてプロットしたものである。

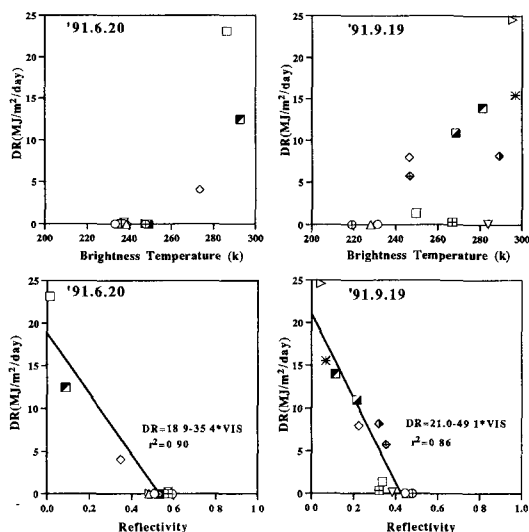
4.1. GMS-IR, VISと直達日射の関係

直達日射とIRの関係は、かなりばらついている。6月20日における札幌・潮崎・根室の輝度温度は280K前後と、ほぼ同じであるにも関わらず、直達日射は札幌と根室では、 $20\text{MJ}/\text{m}^2/\text{day}$ もの差がある。また、9月19日では鹿児島・福岡・米子はそれぞれ290K前後の輝度温度を示しているが、直達日射は鹿児島と米子で $15\text{MJ}/\text{m}^2/\text{day}$ の差がある。このような差が生じるのは、直達日射量は太陽から直接到達する日射の点観測であるのに対して、衛星データは5kmメッシュの空間スケールを観測しているためと考えられる。一方、VISと直達日射の関係は、IRに比べ非常に良い相関関係を示している。但し、直達日射が0になる曇天ないし雨天時の反射率を比較すると、6月20日は0.5前後、9月19日では0.4前後となる季節的な差異が見られる。これは太陽高度の違いと考えられる。

4.2. GMS-IR, VISと全天日射の関係

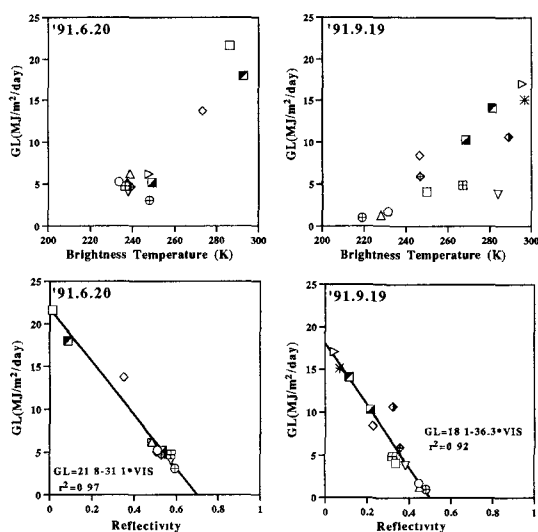
図4(a)はIRと全天日射の関係を示している。高輝度温度では高日射量、低輝度温度では低日射量を示す関係は見られるものの、福岡・米子・輪島では逆になっている。

図4(b)はVISと全天日射の関係を示している。VIS=1は厚い雲の反射を示し、この時日射はほとんど観測



(a) IRと直達日射量の関係（上段）
(b) VISと直達日射量の関係（下段）

図3 衛星観測データと直達日射の関係



(a) IRと全日射量の関係（上段）
(b) VISと全日射量の関係（下段）

図4 衛星観測データと全日射の関係

されない。図4(b)ではそのことがよく現れている。図中の直線はこの関係を最小二乗法を用いて求めた回帰直線であり、その対応の良さがこの直線関係に良く示されている。一点福岡は反射率の高さに比べ全日射量が多くやや外れて見えるが、これは、局地的な雲の切れ間の影響と考えられる。

5. 結論

(1) 反射率(VIS)と日全日射量(GL)は、ほぼ一対一の直線関係にあり、これによる日全日射量の推定の可能性が示された。日直達日射(DR)でも同様の関係は見られるが、相関は日全日射の場合に比べ低い。これは、直達日射を受けている受光面でも、衛星からは近隣上空の雲に遮られて雲が観測されることなどによると考えられる。

(2) 本研究で用いた1991年の観測資料からは、以下の関係が得られた。

日全日射量GL(MJ/m²/day)は、6月：(GL) = -31.1・(VIS) + 21.8 決定係数 = 0.97

9月：(GL) = -36.3・(VIS) + 18.1 決定係数 = 0.92

日直達日射量GL(MJ/m²/day)は、6月：(DR) = -35.4・(VIS) + 18.9 決定係数 = 0.90

9月：(DR) = -49.1・(VIS) + 21.0 決定係数 = 0.86

(3) IR輝度温度と日全日射量の関係は輝度温度220～230、290～300K付近では一対一に対応しているが、230～290K付近での関係は一意的ではない。IRと日直達日射の間には明瞭な関係は見い出されなかった。

謝辞：本研究を進めるに当たり、建設省土木研究所、気象庁観測部放射係から貴重なデータの提供を頂きました。深く感謝の意を表します。

引用文献

- (1)Brakke, TW and ET Kanemasu, 1981: Remote. Sens. Environ., 11, 157-167、(2)Gautier, C, G Diak and S Masse, 1980: J. Appl. Meteor., 19, 1005-1112、(3)木村竜治、金榮変(1990):衛星による地球環境の解明、平成3年度第2回シンポジウム、223-228、(4)木村竜治、金榮変(1991):衛星による地球環境の解明、平成4年度第2回シンポジウム、296-305、(5)小池俊雄、西館昌行他(1991):水水学会1991年発表会要旨集、26-29、(6)島崎彦人、陸晃皎、小池俊雄(1995):土木学会第45回年講II、90-91、(7)橋本大、小池俊雄他(1990):土木学会第45回年講II、58-59