

国内の日射量変化について

Study of Solar Radiation Change in Japan

池鯉鮒 悟^{*1} Satoru CHIRIFU

Abstract

Since about 1990, solar radiation increased in Japan. The measured value of direct solar radiation changed from $10MJ/(m^2d)$ to $11MJ/(m^2d)$ which is about a 10% increase. It is suggested that this increase means the increase of air conditioning use, and the influence on human skin are all serious concerns. In this study, the influence of meteorological and other factors on solar radiation is investigated. Factors were extraterrestrial Normal irradiance, region, season, duration of sunshine, cloud amount, absolute humidity, total ozone, airborne particulate matter (SPM), air temperature. As a result, it is thought that a decrease of concentration of airborne particulate matter (SPM) is the main factor to increase the solar radiation.

キーワード:日射量,日照時間,雲量,SPM,気温,絶対湿度,オゾン全量,紫外線 Key Words: solar radiation, duration of sunshine, cloud amount, SPM, air temperature, total ozone, ultraviolet radiation

1. はじめに

地球温暖化問題が注目を浴びて入しく,京都議定 書の期限である 2012 年になったが, CO₂ 削減はあ まり進んでいない. そういった状況の中で, 2011 年3月に東日本大震災が起き,福島の第一原子力発 電所で放射能漏れ事故が発生し,周辺地域に甚大な 被害を及ぼしている.もはや新規の原子力発電所の 建設は望むべくもなく,現在停止中の原発の再稼動 もままならない状況である.これまで節電と計画停 電でなんとか乗り切ってきた.

このような状況であるが,夏季の冷房負荷に大き く影響する日射量が近年増加してきている点につい てはほとんど知られておらず,議論もされていない. 気象庁の大気・海洋環境観測報告¹⁾や高層気象台 のホームページ²⁾では、1960年~1970年代よりも 現在の日射量が大きくなっているという観測結果が 報告されている.日射量の増加は、冷房負荷の増大 のみならず、皮膚への健康面での影響も懸念される ところである.一方、冬季には暖房用エネルギーの 削減につながるということも予想され、注目度の大 きい太陽光発電に関しては、プラスに働くと考えら れる.

日本国内の日射量増加に関する研究は,筆者がこ れまでに報告してきた研究^{4~8)}以外では,前出の 大気・海洋環境観測報告及び Stanhill と Cohen によ る報告³⁾しか見られず,その原因は定かではない とされている.本報告では,筆者のこれまでの研究 をまとめると同時に,新たな最新のデータを追加し て,日射量の経年変化に対する気象関連要素等の影 響について検討・報告する.

2. 使用データ

日射量の検討に用いたデータは、基本的に気象庁

¹ 久留米工業大学工学部教授(〒 830-0052 福岡県久留米市上津 町 2228-66) e-mail: chirifu@cc.kurume-it.ac.jp (原稿受付: 2012 年 6 月 12 日)



Fig.1 Observation points

のホームページ⁹⁾ に公開されているデータ及び気 象庁年報¹⁰⁾ に掲載されているデータを使用してお り,その他のデータの場合は使用の際に記載した.

2.1 観測点

検討に使用したデータの観測点を Fig.1 に示す. 全天日射量を計測していた気象台は全国で 65 点あ るが,2012 年 6 月現在まで継続して計測している 気象台は 45 点であり,全天日射量についてはその 45 点を使用した.対象の 45 点については,図中に アンダーラインで示した.直達日射量は当初 14 点 (図中の●印)で計測されていたが,2007 年以降は, 札幌,つくば(館野),福岡,石垣島の 4 点に減少 している.また,Fig.1の観測点のほかに南極(昭 和基地)のデータも使用した.

2.2 対象期間

全天日射量は 1973 年~2011 年, 直達日射量は 1978 年~2007 年のデータを使用している. その他 の気象要素については, それより以前のデータが 揃っているものもあるが, 検討には 1973 年頃以降 を使用した.

3. 日射量変化と影響要素の検討

3.1 日射量の経年変化

Fig.2 に対象測定点の直達日射量及び全天日射量 の経年変化を示す.各日射量は日積算値の年平均を 表しており,以降の日射量も同様である.図中の太 線は5年間の移動平均である.直達日射量について は,気象庁の大気・海洋環境観測報告¹⁾でも国内 14 点の観測点の直達日射量平均値は,1990年以前 には10MJ/(m²d)であったものが,1990年頃から の10年間で1MJ/(m²d)(およそ10%に相当)増加 していることが指摘されている.当然ながら全天日



Fig.2 Time series of solar radiation



Fig.3 Solar constant

射量(45点平均)も同様の変化を示しており, 1990年からの10年間でおよそ1MJ/(m²d)増加し ている.1991年6月にフィリピンのピナトゥボ火 山が噴火した影響は大きく,1991年から1993年に かけて,直達日射量の大幅な減少が見られる.一方, 同時期の全天日射量にはそれほどの減少は見られな い.噴火によってフィリピンから全球規模で大気エ アロゾル粒子が広がり,日本上空も同様であった. これにより直達日射は遮られるが,散乱日射は逆に 増加するため,全天日射量としてはあまり減少しな い結果となっている.

日射量が変化していれば、短波長成分である紫外 線量も変化していることが予想される.Fig.2には 日射量と合わせて紅斑紫外線量(日積算値の年平均 値)の経年変化も示した.紅斑紫外線量は、290~ 400nmの波長範囲について、波長別の紫外線強度 に国際照明委員会が定義した CIE 作用スペクトル を乗じ、波長積分して得られる量であり、皮膚への 影響を考慮した紫外線量である.この CIE 作用ス ペクトルは 298nm 以下が1で、328nm でほぼ0に 近づくような指数関数で表されるスペクトルである¹¹⁾. 観測点は、札幌、つくば、那覇の3点であり(測定 は 1990 年以降)、図にはその平均値を示しているが、 紅斑紫外線量も日射量と同様に増加していることが わかる.

3.2 太陽定数について

日射量が経年変化する場合,まず元々の太陽放射 の大きさの変化があるか否かを確認しておく必要が ある.大気圏外で観測される太陽定数の変化を Fig.3 に示す.これは人工衛星によって観測された 太陽定数の経年変化を表している.スイスの世界放 射センター Claus Fröhlich 前所長のデータ¹²⁾が公 開されており,そのデータを使用した.複数の人工 衛星による観測データで、測定期間も各人工衛星に よってまちまちであるが、それをつなぎ合わせて編 集されたものである。約11年周期の太陽活動によ るわずかな増減は見られるものの、その変化は1% に満たない。1990年頃からの日射量増加は、太陽 放射の変化によるものではないと考えられる。

3.3 全天日射量の地域差について

全天日射量の経年変化について、地域ごとに分け て、変化の度合が異なるか否かについて検討した. 全天日射量の5年間移動平均を各地域(ここでは国 内の各地方)ごとにまとめたものがFig4である. 図中の括弧内の数字は各地方に含まれる県の数を表 している.また、地域の特性ということから、国内 とはまったく異なる地域である南極(昭和基地)の 全天日射量も図に含めた.図からは地域による日射 量の違いが見られ、当然の結果であるが、北の地域 (北海道地方や東北地方)では日射量が小さく、南 の九州・四国地方では日射量が大きい.また、1990 年比で2009年までの変化を見ると、関東が10.8%、 次いで近畿が10.4%と大きく、北海道が2.6%と最



Fig.4 Difference of solar radiation by region





も小さくなった. 図中+印で示したものは南極(昭 和基地)での観測値であるが,国内の日射量変化と は全く異なる変動パターンを示しており,日射量の 経年変化はむしろ減少傾向にあると言ってよい. こ れは半球ごとの違いか,または極地方という人為的 な外乱が少ない地域の特性か等,世界の日射量変化 について別途比較検討する必要がある.

3.4 全天日射量経年変化の季節による違い

全天日射量の経年変化において,季節による違い の有無を検討した.Fig.5は全天日射量の経年変化 を,春季:3月~5月、夏季:6月~8月,秋季:9 月~11月,冬季:12月~2月,に分けて平均を取り, それぞれをプロットしたものである.当然のことで はあるが,季節による日射量の違いがあり,夏季が 最も大きく,春季,秋季,冬季の順に小さい値となっ ている.また,他の季節に比べて夏季は年変動が大 きくなっている.

各季節ごとの全天日射量経年変化の状況はどの季節 もほぼ同様で,増加の度合いも季節ごとの差異はそ れほど見られず,季節依存性はないようである.

3.5 日照時間について

日照時間と合わせて全天日射量の経年変化を Fig.6 に示す.日照時間は 1940 年代から長い期間観 測されてきているが,1985 年 10 月から 1986 年に かけて順次日照計が切り替えられたため,その前後 のデータは均質ではない.日照時間と日射量の年ご との変化は,非常によく対応しており,日照時間の 長短が,そのまま日射量の大小として現れている. 1980 年頃から変動は大きくなっているものの,日 射計切り替えの前の期間,切り替え後の期間を見て も,その平均値はほとんど変化していない.特に 1990 年頃以降の日射量増加には,日照時間は関連



Fig.6 Duration of sunshine and solar radiation

しないと考えられる.

3.6 雲量について

日照時間・日射量と密接に関わる要素である, 雲 量についても検討した.うすい雲がかかったような 場合,日照時間としてはカウントされるが, 雲にさ えぎられて日射量としては減少する場合もある. 雲 量の経年変化と全天日射量の経年変化を Fig.7 に示 す.雲量も日照時間と同様に長期間観測されてきて いる.雲量の年変動は日照時間の場合と同様に,日 射量の増減と非常によく対応しており, 雲量が増す と日射量が減るといったように,グラフ上では上下 に対象なパターンで変化している.雲量の平均値は, 総体として増加してきている.雲量が増加すれば, 雲量と日射量の経年的な変化は逆の傾向を示してい る.雲量増加により日射が減少する以上に,日射を 増加させる要因があるということを示している.

3.7 大気中の水蒸気量の影響

日射量に影響する要素として,大気中の水蒸気量 についても検討した.水蒸気は主に日射の長波長成 分を吸収することで知られており,水蒸気量の減少







Fig.8 Absolute humidity and solar radiation

が日射量の増加として現れてくることが予想され る.Fig.8に空気中の水蒸気量の指標として絶対湿 度の経年変化を示した.絶対湿度の変動はあるもの の,経年的には増加傾向を示しており,全天日射量 変化のパターンとは逆の傾向を示している.した がって,日射量の経年的な増加は空気中の水分量の 影響ではないようである.

3.8 大気中のオゾンの影響

大気中に含まれるオゾンは日射の波長領域の一部 に吸収帯を持っており、オゾン量も日射量に影響を 与えると考えられる.国内のオゾン観測点は、観測 期間の短い南鳥島と 2005 年で計測中止している鹿 児島を除くと、札幌、つくば、那覇の3点があり、 その平均値を国内の代表値と考えて、全天日射量(同 じ3点の平均値)との関係を検討した.使用したオ ゾン全量のデータは環境省 HP の環境統計集¹³⁾に よっている.Fig.9 に示すようにオゾン全量はゆる やかに変化しており、1990 年頃以降では、増加傾 向を示している.オゾンによる吸収を考えると、オ ゾン増加により日射量は減少するはずであるが、逆 の傾向を示している.従って、日射量の経年的な増 加はオゾン量変化による影響ではないと言える.

3.9 大気中の浮遊粒子状物質(SPM)の影響

日射量に影響を及ぼす要素に、大気中の浮遊粒子 がある.浮遊粒子は例えば火山噴火の際の噴煙によ り日射がさえぎられて日射量が減少するように、大 きな影響要素である(3.1の記述参照).そこで、大 気中の浮遊粒子濃度との関連を検討した.Fig.10に SPM 濃度の変化を示した.ここで使用したデータ は、前出の環境統計集¹³の浮遊粒子状物質(SPM) 濃度データであり、直径 10µm 以下の浮遊粒子の重 量濃度で表されている.測定は一般環境測定局(一





般局)と自動車排出ガス測定局(自排局)の2種の 測定点で行なわれている.ここでは、全天日射量測 定点のうち、SPM が継続的に測定の行なわれてい る測定局を選び出し、その平均値を用いた.一般局 が253点,自排局が130点である.SPMの測定点は、 主として自動車の排気ガスに含まれる粒子状物質を 対象とした測定点である.

浮遊粒子濃度は、測定開始した1974年頃から急激に減少して1980年代に入ってからは横ばいで、 1990年以降はまた減少が始まっている.この浮遊 粒子濃度の経年変化は日射量の経年変化とよく対応 しており、

1990年以降の日射量増加をよく説明できる.浮遊粒子濃度が減少したことにより,日射をさえぎる 要素が減少して,日射量が増してきたということが 言えそうである.3.3で検討したように,日射量増 加の傾向が関東や近畿という都市部を含む地域で大 きかったのは,自動車の排ガス規制によるSPMの 減少傾向が都市部で大きく,北海道などの緑地が大 きな割合を占める地域では小さいことが原因である と予想される.各地方ごとの日射量変化とSPM濃 度変化との対応は,別途検討したいと考えている.

また,1991年のピナトゥボ火山の噴火の影響は, SPM 濃度には反映されていない.このことから, 噴火によって発生し全球規模で広がった大気エアロ ゾルは,地表面近傍には降りてきていないと推測される.

日射量増加が大気中の浮遊粒子濃度減少の影響と すれば、今後、大気中の浮遊粒子濃度が減少してい けば、さらに日射量が増加していくことが予想され る. この増加は大気汚染がほとんどなかった時代の 日射量に戻るということであり、自然なことなのか もしれないが、現在の温暖化を加速する大きな要素 ということもできる.



Fig.10 SPM and solar radiation



3.10 気温との関連性

日射量に影響する要素ではないが,日射量に影響 を受ける側の要素として,気温の変化についても Fig.11 に示した.日射量の増加パターンとは違った パターンで気温が上昇してきているのがわかる. 1990 年頃は日射量は減少しているが,気温は上昇 しており,変化パターンが逆になっている.このように増減のパターンが多少異なっている部分もある が,全般において上昇傾向である.

4. まとめ

本検討の結果を以下にまとめる.

- 日本国内の日射量は1990年頃から増加してきており、直達日射量では1MJ/(m²d)の増加が見られる。これは直達日射量のほぼ10%程度の増加である。
- 2)日射量の経年変化(増加)については地域の差 異がみられ、関東や近畿の都市部で増加が大きく、 北海道では増加がもっとも小さくなった。
- 3) 日射量の経年変化(増加)に対して,季節の差 異はあまり見られない.
- 4) 日照時間は平均的にはほとんど変化しておらず, 日射量増加の要因ではないと考えられる.
- 5) 雲量は経年的に増加傾向にあり,日射量経年変 化(増加)の原因ではない.
- 6) 大気中の水蒸気量(絶対湿度)も増加傾向で, 日射量増加とは関係がないようである.
- 7) SPM 濃度は減少してきており、日射量の増加傾向とよく対応している. SPM 濃度が減少したことにより、日射量が増加したと言えそうである.
- 8) 気温は上昇してきているが、その上昇パターン は日射量増加傾向とは違ったパターンである。

9) 南極(昭和基地)の全天日射量データは日本国内のデータと全く異なった変動パターンで、国内とは逆にむしろ減少傾向を示している。

謝辞

研究当時, 久留米工業大学4年生であった, 石橋 晃君, 河野修志君, 島ノ江尚雄君, 寺崎能章君, 平 山徳彦君には, データの収集にあたって多大な協力 をいただいた. ここに深く謝意を表する.

参考文献等

- 1)気象庁「大気・海洋環境観測報告」第9号, 2009, pp.174-184
- 2) 高層気象台HP, 日射観測(http://www.kousou-jma.go.jp/obs_third_div/solar.htm)
- 3) G. Stanhill, S.Cohen "Solar Radiation Change in Japan during the 20th Century : Evidence from Sunshine Duration Measurements", J. Meteor. Soc. Japan, Vol.86, No.1,2008, pp.55-67
- 1)池鯉鮒「日射量の変化について(第1報)日本
 国内の日射量変化」空調・衛生工学会大会学術
 講演論文集,2009,pp.325-328
- 5) 池鯉鮒「日射量の変化について(第2報) 関連 要素の検討」太陽 / 風力エネルギー講演論文集, 2009, pp.255-258
- 6)池鯉鮒「日射量の変化について(第3報) 直 達日射を中心とした検討-」日本建築学会九州 支部研究報告第49号,2010,pp.145-148
- 7)池鯉鮒「日射量の変化について(第4報)変動
 周波数の検討」空気調和・衛生工学会大会学術
 講演論文集,2010, pp.1635-1638
- 8)池鯉鮒「日射量の変化について(第5報)」日本建築学会九州支部研究報告第51号,2012, pp.165-168
- 9) 気象庁 HP, 気象統計情報(http://www.jma. go.jp/jma/menu/report.html)
- 10) 気象庁「気象庁年報」, 1978-2007
- 環境省「平成20年度オゾン層等の監視結果に 関する年次報告書」,2009,pp.99-100
- 12) ftp://ftp.pmodwrc.ch/pub/data/irradiance/ composite/DataPlots/
- 環境省HP, 環境統計集(http://www.env. go.jp/doc/toukei/)