

# 国内の日射量変化について

## Study of Solar Radiation Change in Japan

池鯉鮒 悟<sup>1</sup>  
Satoru CHIRIFU

### Abstract

Since about 1990, solar radiation increased in Japan. The measured value of direct solar radiation changed from 10MJ/(m<sup>2</sup>d) to 11MJ/(m<sup>2</sup>d) 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久しく、京都議定書の期限である2012年になったが、CO<sub>2</sub>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<sup>1)</sup>や高層気象台

のホームページ<sup>2)</sup>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場所である。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<sup>4)~8)</sup>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<sup>3)</sup>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

<sup>1)</sup> 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)

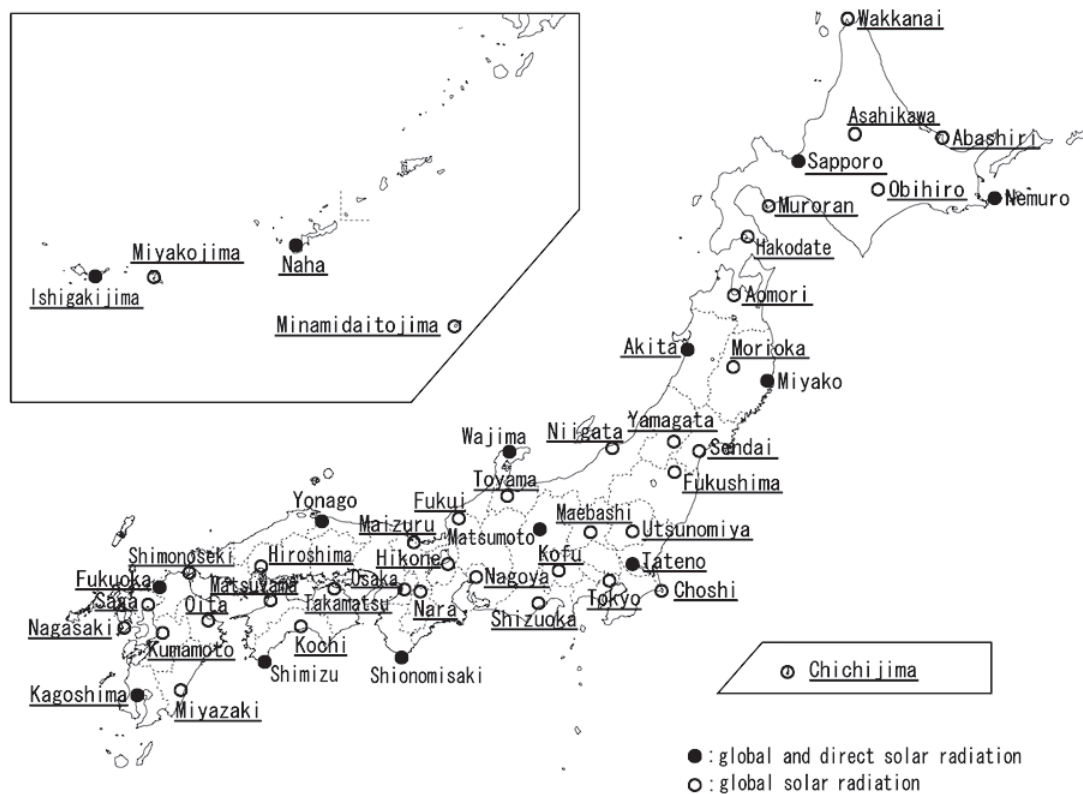


Fig.1 Observation points

のホームページ<sup>9)</sup>に公開されているデータ及び気象庁年報<sup>10)</sup>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<sup>1)</sup>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  $10\text{MJ}/(\text{m}^2\text{d})$  であったものが、1990 年頃からの 10 年間で  $1\text{MJ}/(\text{m}^2\text{d})$  (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

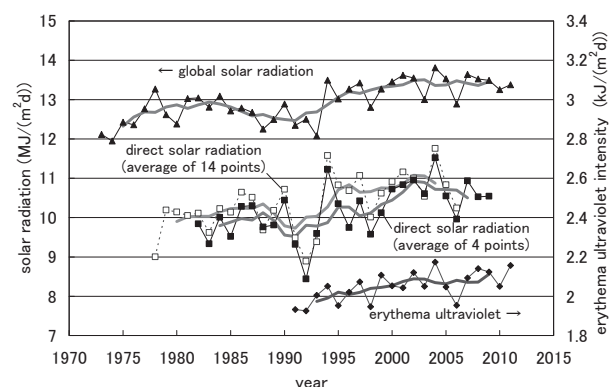


Fig.2 Time series of solar radiation

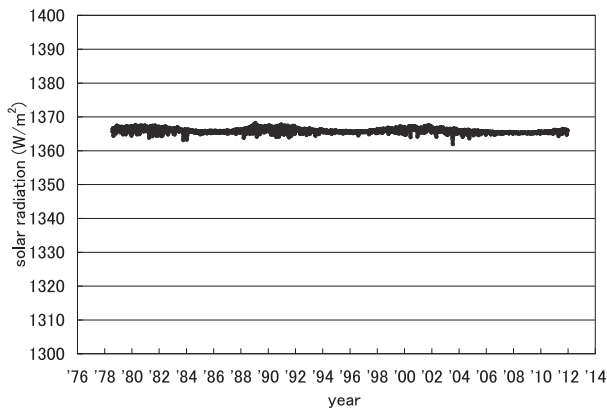


Fig.3 Solar constant

射量 (45 点平均) も同様の变化を示しており、1990 年からの 10 年間でおよそ  $1\text{MJ}/(\text{m}^2\text{d})$  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。

日射量に変化していれば、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。Fig2 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<sup>11)</sup>。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<sup>12)</sup> 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、変化の割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、地域の特長ということから、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多い。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

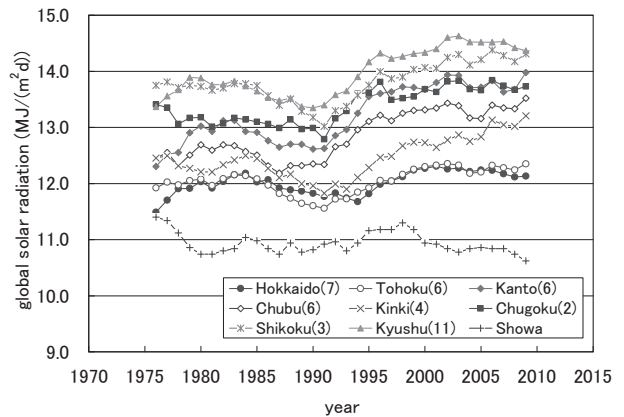


Fig.4 Difference of solar radiation by region

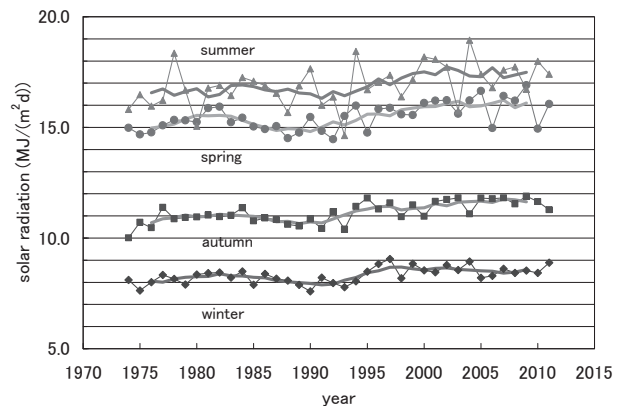


Fig.5 Difference of solar radiation by season

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。Fig5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Fig6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

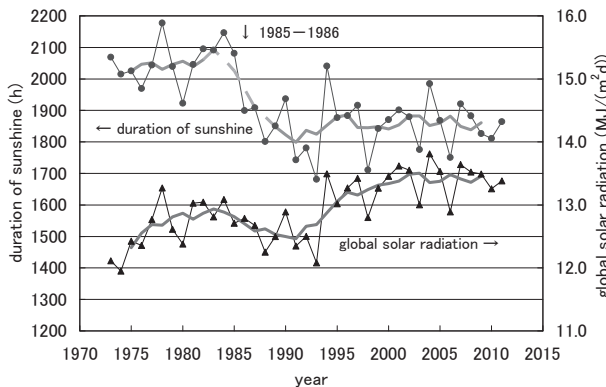


Fig6 Duration of sunshine and solar radiation

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Fig7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、雲にさえぎられて日射量は減少するはずであるが、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

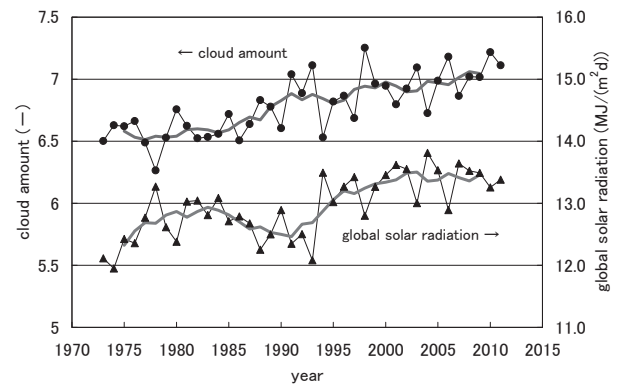


Fig.7 Cloud amount and solar radiation

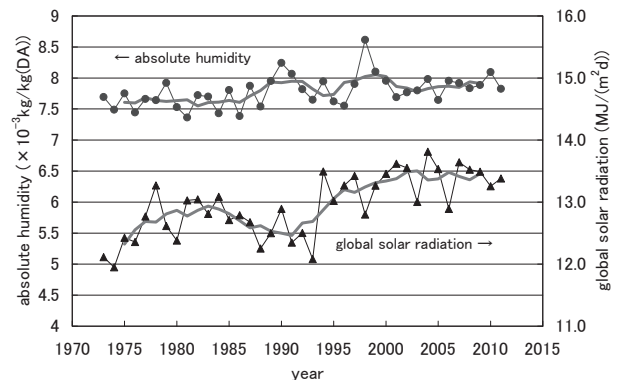


Fig.8 Absolute humidity and solar radiation



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<sup>13)</sup>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<sup>13)</sup>の浮遊粒子状物質 (SPM)濃度データであり、直径 $10\mu\text{m}$ 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が継続的に測定が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年のピナトゥポ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。

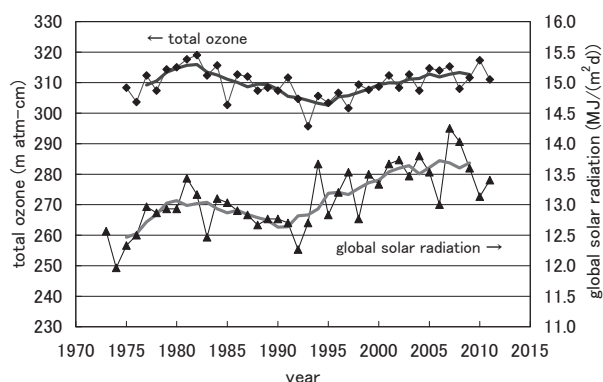


Fig.9 Total ozone and solar radiation

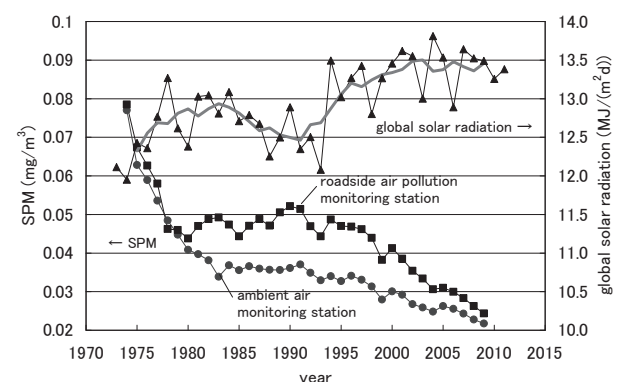


Fig.10 SPM and solar radiation

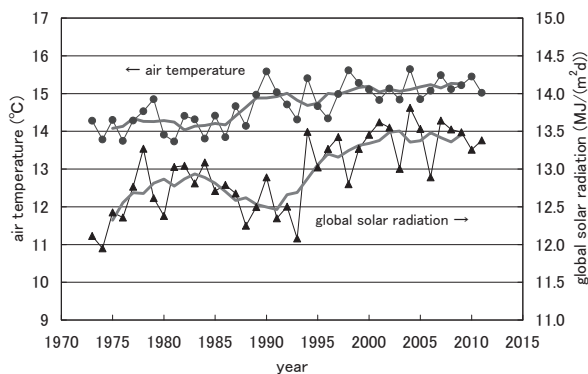


Fig.11 Air temperature and solar radiation

### 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。

- 1) 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  $1\text{MJ}/(\text{m}^2\text{d})$  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](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
- 4) 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
- 11) 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/>
- 13) 環境省 HP, 環境統計集 (<http://www.env.go.jp/doc/toukei/>)