

作物栽培における日射の変動性

林 慎也・鈴木晴雄

FLUCTUATION CHARACTERISTICS OF SOLAR
RADIATION IN CROP CULTIVATION

Shinya HAYASI and Haruo SUZUKI

The objective of this study was to clarify the fluctuation of solar radiation for long and short periods, which is very crucial for plant growth. Data obtained from a meteorological observatory were used to investigate solar radiation and sunshine duration for a long period. For a short period, observation of global solar radiation and sky solar radiation were conducted in a glass house and at an open field.

(1) Yearly average percentage of solar radiation at Kagawa from 1973 to 1994 was 44.3%, and its coefficient of variation was 3.9%. The percentage of possible sunshine and the coefficient were larger than those of solar radiation, 47.3% and 5.6% respectively.

(2) Percentage of possible solar radiation and percentage of possible sunshine showed seasonal variation. Those coefficients of variation both increased exponentially with cloud amount.

(3) Variations of global solar radiation and direct solar radiation were more remarkable in the glass house than those in the open field, while variations of sky solar radiation were small in the house and at the open field. (see Fig. 5)

(4) The fluctuation of solar radiation observed every 5 minutes was presented as the difference of radiation, present value minus the preceding value. The difference was positive in the morning, negative in the afternoon at the open field. In the house both positive and negative values were obtained the whole day.

(5) Diurnal variation of ratio of direct solar radiation to sky solar radiation showed a parabolic effect, whereas it had irregular and large fluctuations at the open field.

Key words : Cloud amount, Fluctuation, Possible solar radiation, Possible sunshine.

1. はしがき

農作物の生育収量と日射についての研究では、日射はその強度、積算値、又は時間変化から扱われており、従来より変動性にはあまり着目されていない。他方、畑地作物の植被内、果樹園や森林の樹幹内では、数10Hzもの極めて短時間周期の光変動の生じていることが指摘されている^{1,2,3)}。

すなわち、太陽からの日射が直接作物植被に到達する強光と、日射が植被内各部の茎葉に到達する場合、上位葉によって日射が遮られて弱光が到達したり、また風による植被の揺れによって瞬間的に光経路が確保されて植被内各部に強光が到達する場合もあって、植被内各部での光強度には大きな変動が生じている。それら光変動が生育に及ぼす影響については別に研究がなされている^{4,5)}。

しかし、栽培環境として最も重要な日射をその変動性に着目し、それを長期間から短期間にわたるタイムスケールから検討した報告はほとんどみあたらない。そこで本報告は、気象観測資料による約20年の期間より、圃場、温室栽培における数分までのスケールにかけての日射変動性について検討した。

2. 気象資料

香川県における日射量と日照時間の長期間にわたる変動性を算出するために、高松地方気象台の観測値 (1973年～1994年)⁶⁾を使用した。なお、利用した資料の統計期間中に日射の単位が従来の $\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$ から kW/m^2 に変更されたので、本報では後者に統一して利用した⁷⁾。さらに日照時間について同気象台では、1986年より従来のジョルダン日照計から回転式日照計に変更した。両日照計の間では測定原理が異なるため統計的連続性に問題があるので、本報では1973年より1983年までの観測値を回転式照度計の値に換算した⁸⁾。今回の資料の取りまとめにあたり、日射量については理論日射量に対する実測日射量の比をとってそれを日射率として記載した。ここでの理論日射量はすべて大気透過率を1とした場合である。

3. 日射量の測定

香川大学農学部構内実験温室 (ガラス) の内外において、全天日射量と散乱日射量を測定した。全天日射量の測定には農試電試型日射計 (中野製作所) 2台を使用し、それぞれを校舎屋上とハウス (南北棟, 奥行16.6m, 間口5.4m, 高さ2.6m) の中央部床面上に水平に設置した。校舎屋上には散乱日射測定用の遮蔽バンド (英弘精機, MB-11) で覆ったネオ日射計 (英弘精機, MS-42型) を設置した。ハウス内部での散乱日射量の測定には遮蔽バンドを試作し、日射計に設置した。直達日射量はハウス内外ともに全天日射量と散乱日射量の差として求めた。

4. 結果及び考察

4.1 日射の経年変化

1973年より1994年までの香川県における日射率の経年変化をFig 1に示した。Fig 1によると、日射率は観測期間計22年間において最大48.8%, 最小40.7%, 平均44.3%の日射率であり、比較的小さい変動 (C.V, 3.9%) にて経過した。日射率最大年の1994年の夏期は西日本では干ばつが長期間持続した年であり、それに対して最小年の1993年の夏期は日本全土が大冷害を主とした異常気象年であって、Fig 1にはそれらによる高低が現れている。

他方、日照率は全般的に日射率よりも若干高く推移し平均47.3%であり、変動も若干大きい (C.V, 5.6%)。日照率の1993年と1994年における変化は日射率の場合と同じであるが、期間中の最大値 (53.7%) は1978年に、最小値 (39.0%) は1993年に生じている。この日射率と日照率の差異は、日照時間が一定 ($120\text{w}/\text{m}^2$) 以上の直達日射量のある場合に日照時間とすることによる両測器の測定原理の相違に起因すると考えられる。

次に日射率の季節変化をFig 2の(a)に、同じく日照時間の季節変化をFig 2の(b)に示した。日射率では最高値は8月に48.3%, 最低値は6月に41.3%となり、年平均では43.9%の水準であった。8月に最高値の出現した理由は、8月は盛夏による晴天が持続したこと、6月は香川県下では同時期に梅雨期に入って日射量自体が低下したためと考えられる。

日射率の変動係数は日射率変化とは若干異なり、県下では例年月降水量の少ない2月 (C.V,

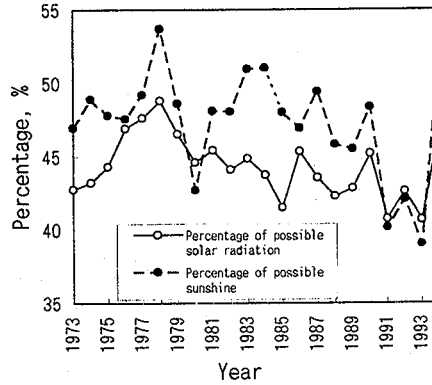


Fig 1 Variations of percentage of possible solar radiation and percentage of possible sunshine at Kagawa from 1973 to 1994.

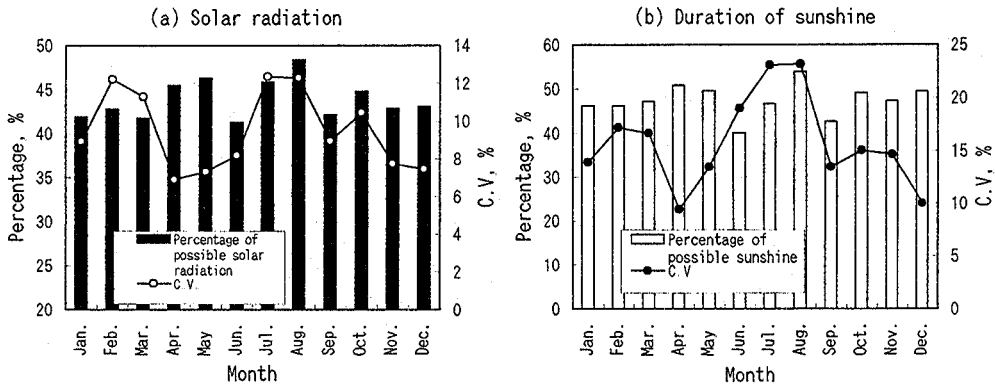


Fig 2 Seasonal variations of percentage of possible solar radiation and percentage of possible sunshine at Kagawa from 1973 to 1994.

12.2%)と3月(CV, 11.3%)に、並びに晴天の続く夏期の7月(CV, 12.4%)と8月(CV, 12.3%)に比較的高く(年平均CV, 9.5%), 4月には最低値(CV, 6.9%)となって必ずしも日射率変化の傾向とは一致していない。

他方、日照率の月別値をみると(Fig 2(b)), 最高値(53.8%, 8月)と最低値(40.1%, 6月)が出現する月は日射率の場合と同じである。同変動係数の最高値は7月(CV, 23.0%)と8月(CV, 23.1%)に、最低値は4月(CV, 9.4%)に出現し、日射率の場合とほぼ似た傾向と言える。しかし、日照率の変動係数は、全般的に日射率の場合(平均CV, 9.5%)より高く出現(平均CV, 15.7%)し、日射率の1.7倍程度に増大する傾向であった。これも前述した日射率と日照率の測定上の相違に基づいている。

4.2 日射と雲量

日射率と日照率の変化は、太陽の移動による他に雲の影響が大きい。そこで、日射率と雲量、及び日照率と雲量との関係を、各季節の代表月毎にFig 3に表した。

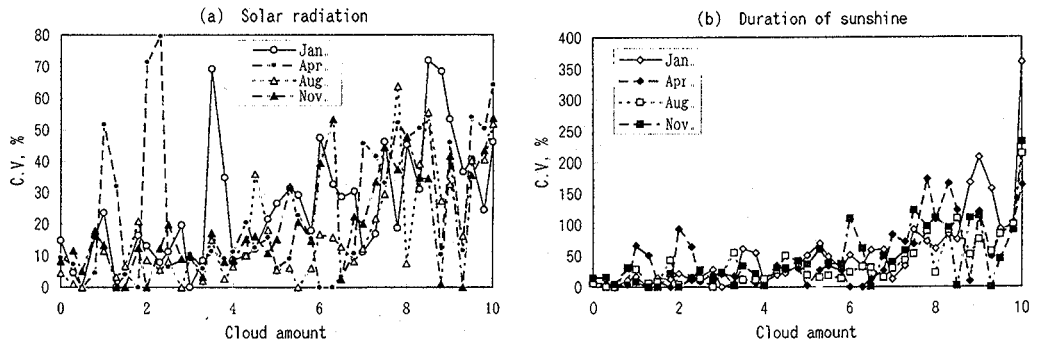


Fig 3 Relations between cloud amount and percentage of possible solar radiation in C.V., between cloud amount and percentage of possible sunshine in C.V. from 1986 to 1992.

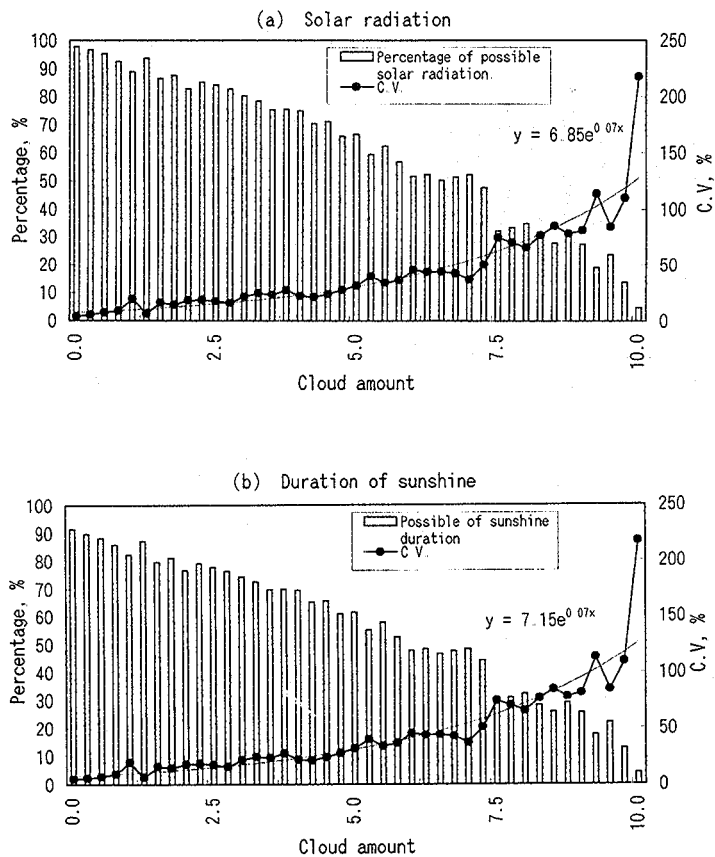


Fig 4 Relations between cloud amount and percentage of possible solar radiation, between cloud amount and percentage of possible sunshine from 1986 to 1992.

日射率では (Fig 3(a)), 1月と4月の一部に例外はあるものの, 全般的に雲量が多くなって雲量10に近づくにつれて日射量の変動係数は高まる傾向にあった。その傾向は各月ごとに異なって1月では雲量3.5と8付近にピークがあり, 4月では雲量1, 2~3と10に, 8月では8, 11月では6と10付近に変動係数は大きくなった。

日照率では (Fig 3(b)), 雲量が増すにしたがって日照率の変動係数も高くなるのは日射率の場合と同じであるが, 変動係数そのものはかなり高くなる。日射率の変動係数は最高で約80%であるが, 日照率では雲量7を越すとほとんどの月が変動係数100%以上となり, 最高値は1月に変動係数350%を越えた。

この日照率を月別変化でみると, 1月は雲量9付近にて高くなるが, 全般的に雲量に伴う変動係数の増加は顕著でない。4月では1月と異なってほぼ各雲量ごとにピークがみられ, 雲量7以上になるとさらに顕著な変化となる。8月の変化は比較的小さく, 11月も同じ傾向であった。いずれの月も雲量10になると最高値となった。

これら雲量に伴う日射率と日照率の両変化を年間を通じてみたのが Fig 4 である。Fig 4(a)によると, 雲量が増加するにつれて日射率は急激に低下した。それに対して日射率の変動係数は指数関数的に大きくなり, 特に雲量7を越えると顕著となった。日照率 (Fig 4(b)) においても, 雲量に伴う全体的変化は日射率の場合とほとんど同じと言える。式(1), (2)に日射率 (変動係数) と雲量, 日照率 (変動係数) と雲量との関係式を示した。なお, Xは雲量 (10分比), Yは夫々日射率と日照率である。

$$\text{日射率} \quad y = 6.85e^{0.07X} \quad \text{-----} \quad (1)$$

$$\text{日照率} \quad y = 7.15e^{0.07X} \quad \text{-----} \quad (2)$$

以上のように, 雲量に伴って日射率, 日照率の各変動係数に明瞭な特徴のあることが明らかになった。

4.3 ハウス内日射の変動

ハウス栽培作物の中には生産量の半分以上がハウスによるものが数種あり, ハウスは, 露地と同様に生産の場として重要である。ハウスでは前述 (4.1) までの長期間にわたる一般の露地の場合は異なって閉鎖空間であり, さらに数ヶ月程度の短期間の利用が多い現状から, 日照時間については今回は調査対象としなかった。

a. 日変化

露地 (Fig 5(a)) では観測日の12月9日が晴天 (雲量2.3) であったので, 典型的晴天日の日射変化を呈した。すなわち, 全天日射量は測定開始の8時10分よりすでに上昇して, 南中時に近い11時30分に最高の503.27kW/m²を記録し, その後測定終了の15時30分まで下降をたどった。直達日射量も全天日射量にほぼ並行して経過しており, 各時刻とも直達日射量は全天日射の60%程度で推移した。散乱日射量は前2者とは違って終始一定しており, 68~165W/m²で推移した。

他方, ハウス (Fig 5(b)) における全天日射量はかなり変動し, ところどころ急激に低下しており, ハウスの構造材による日射遮蔽やガラス面反射によるとみられる影響が出ている。なお, ハウス内全天日射量は露地の約53%である。直達日射も全天日射と同様な推移であり, 日量は全天日射量 (ハウス) の約61%に相当している。散乱日射量の推移も露地の場合と同じであり, ハウス内散乱日射量の変動は構造材による影響はかなり小さいと言える。この測定日における散乱日射のハウス/露地の割合は約50%であった。

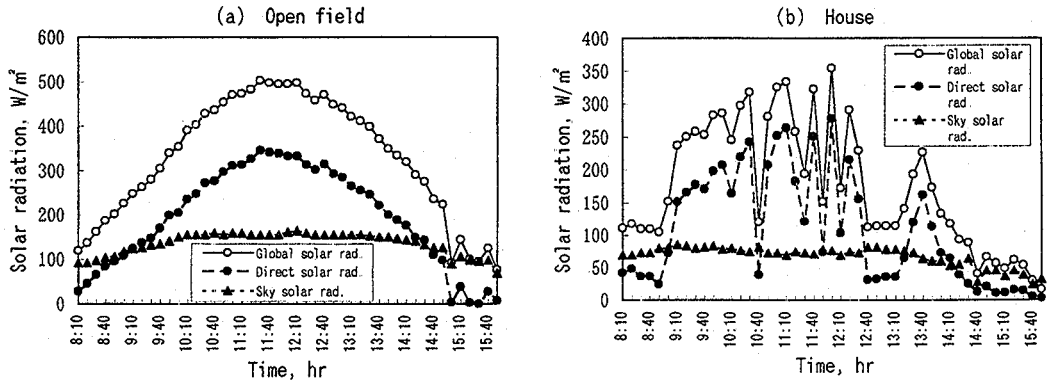


Fig. 5 Diurnal variations of solar radiation on December 9 in 1992.

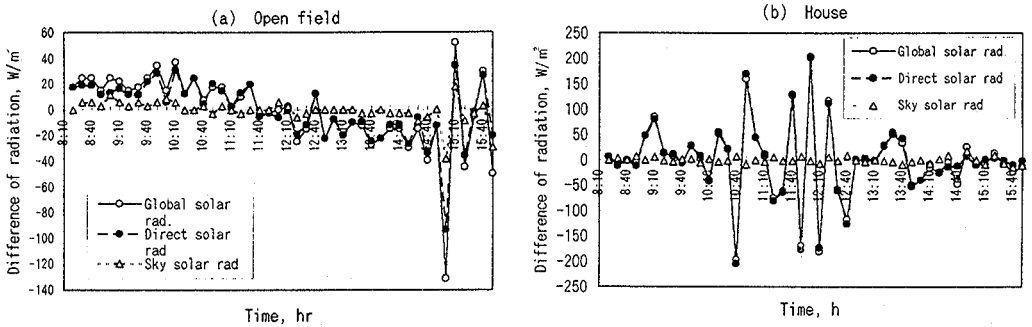


Fig. 6 Diurnal variations of the difference of solar radiation on December 9 in 1992. The difference denotes radiation at the present time minus the preceding value for the same.

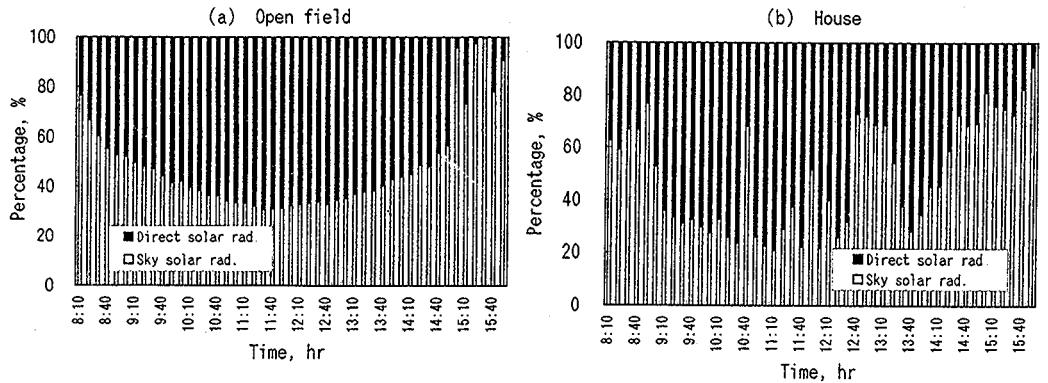


Fig. 7 Diurnal variations of the ratio of direct solar radiation to sky solar radiation on December 9 in 1992.

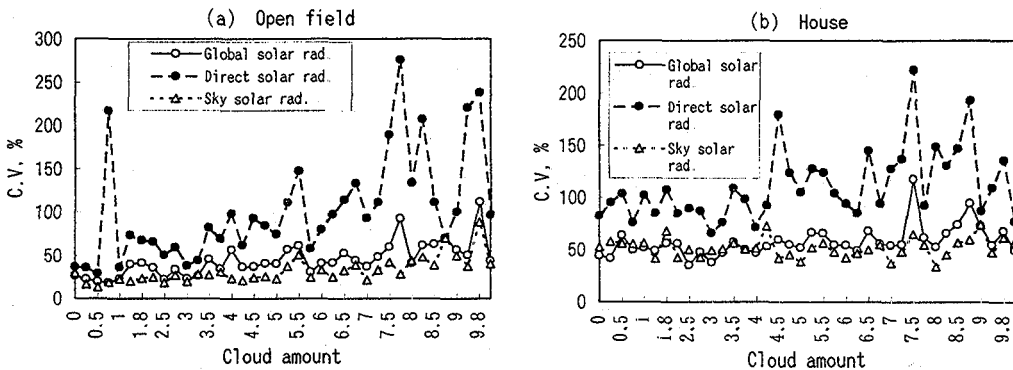


Fig. 8 Relations between cloud amount and solar radiation in C.V. from November 15 in 1992 to April 30 in 1993.

b. 変動性

日射日変化の変動を Fig. 6 に示した。なお、変動として 5 分間隔測定による日射量の現在時刻と前時刻における差を求めた。

露地 (Fig. 6(a)) での全天日射量の差は午前中はほぼ正值 (最高 32.0 kW/m^2) で経過するが、正午頃より負値に転じ低下し続け、15 時前には負値の最高の -131.2 kW/m^2 を記録した。その後、急激に正值と負値を繰り返す経過であった。直達日射量の変化もほぼ全天日射量に追随しているが、午前中の変化はところどころ全天日射量を上回っている。散乱日射量はそれら 2 者に比べると変化が少なく終始 $-38.0 \sim 17.6 \text{ kW/m}^2$ で経過している。先の日変化 (Fig. 5) では各日射量ともにきわめて穏やかな変化が示されているが、ここでの差によると変動が顕著に現れている。

次にハウスでの日射変動 (Fig. 6(b)) は露地とは異なる特徴がある。全天日射量と散乱日射量は、はやくも 9 時 10 分以降に大きく正值と負値とを繰り返している。つまり露地と異なって午後よりも午前中に日射変動が大きいことになり、これはハウス栽培作物の特有な日射環境でもあって、栽培上留意すべき現象と言える。

こうしたハウス内外の日射強度の比較とは別に、直達日射量と散乱日射量の日射成分の変化を示したのが Fig. 7 である。Fig. 7(a) の露地では、直達日射量と散乱日射量の比率を示す境界線は放物線状を呈し、正午頃に最も低くなっている。つまり、早朝と夕刻になるほど全天日射量に占める散乱日射量の割合が多く、昼間は直達日射量が散乱日射量を凌ぐ傾向となる。

これに対してハウス (Fig. 7(b)) では露地のような一定した傾向はみられなく、時間毎に変動している。昼間にわずかに直達日射量の多い時間帯もあるが、一般的に明確な傾向は出現していない。これらのことから、ハウス内外では日射成分の変動の違いも明確である。

これからハウス内外の日射成分の特徴は得られたが、次に先の気象台値 (4.1) によるのと同様にして、雲量と各日射量との関連を Fig. 8 に示した。

露地 (Fig. 8(a)) ではいずれの日射量ともに雲量の増加につれてその変動係数は大きくなっている。特に直達日射量の変動係数は顕著であり、雲量が 5 を過ぎると係数はほぼ 100% 以上になる。最も変化の小さいのは散乱日射量で雲量変化に伴う変動係数は 13~89% である。全天日射量は散乱日射量を少し上回る程度である。

ハウスになると (Fig. 8(b))、全般的に雲量に伴う各日射の変動は露地の場合よりも若干小さくなる。しかし、露地に比べて雲量の少ない時は各日射量の変動係数はむしろ露地よりも若干大きく、例えば全天日射では雲量 0~4 付近で露地では 18~60% であるのに対し、ハウスでは 38~64% の値

である。ハウスの直達日射量と散乱日射量は50-60%前後で変動し、雲量が多くなってもあまり増加しない変化であった。

以上、作物の栽培環境としての日射を日射率と日照率から述べてきたが、両方ともに経年変化、季節変化に特徴があり、特に雲量によって日射率と日照率の変動係数の変化が明瞭となった。ハウス内の日射変動はハウス外に比べて大きく、さらに日射成分(直達/散乱)の変化も顕著になった。今後、栽培環境としての日射変動が作物成育へ直接及ぼす各要因とその過程について検討することが課題となる。

要 約

栽培において最も重要な日射について特に変動性に着目し、長期間から短期間にかけての日射変動の基礎的知見を得ることを目的とした。長期間の日射量及び日照時間の検討については気象台値を利用した。短期間については日射量のみを調査対象として全天日射量、直達日射量、散乱日射量のハウスと露地間において比較観測を行った。

(1) 香川県における1973年~1994年までの日射率は平均44.3%、変動係数は3.9%であり、日照率は平均47.3%、変動係数は5.6%であった。日照率の平均値、変動係数はともに日射率の場合に比べて高い傾向にあった。

(2) 日射率と日照率の変化はともに季節性があり、さらに両変動係数ともに雲量の増加につれて指数関数的に増大する傾向にあった。

(3) ハウス内外の日射変化については、全天日射量と直達日射量はハウスの方が顕著となったが、散乱日射量の変化はハウスと露地間に差はなくとも小さく経過した(Fig. 5)。

(4) 日射変動を現在測定値-5分前測定値の差の変化にてハウス内外を比較すると、露地は午前中は絶えず正值を示し午後からは負値で経過したが、ハウスでは午前中から正負が繰り返される変化であった。

(5) 日射変動は日射成分(直進/散乱)にも認められ、直達/散乱の日変化は露地では放物線状であるのに対し、ハウスでは一定した傾向はみられず時間毎の変動が大きい変化であった。

引 用 文 献

- DESJARDINS, R.L., T.R. SINCLAIR, and E.R. LEMON, 1973: Light fluctuations in corn. *Agron. J.*, **65**, 904-908.
- INO, Y., 1970: The effect of fluctuating light on photosynthesis. *JIBP/PP-photosynthesis Level II Group*, 68-70.
- 鈴木晴雄・田中伸一, 1990: 数種の植被内における変動光. *農業気象*, **46**, 87-92.
- SAGER, J.C. and WALTER, G. Jr., 1980: Re-evaluation of published data on the relative photosynthetic efficiency of intermittent and continuous light. *Agr. Meteorol.*, **22**, 289-302.
- 鈴木晴雄・神島義和・宮本硬一, 1983: 強弱光の反覆が作物の生育に及ぼす影響(II). *農業気象*, **39**, 97-101.
- 高松地方気象台編集: 香川県気象年報(1973年-1994年), 財団法人日本気象協会四国センター.
- 気象庁観測部観測課: 日射観測のスケールと単位の変更について. *天気*, **28**, 22 (1981).

(1996年5月31日受理)