種々の耕地のアルベドと放射収支

伊藤代次郎・長谷場徹也

(愛媛大学農学部)

Albedo and Radiation Balance of Bare Soil and Vegetation

Daijiro ITO and Tetsuya HASEBA

(College of Agriculture, Ehime University,)
Matsuyama 790

1. は し が き

植物群落内外における放射の状態は、植物個葉や群落の熱収支、水収支ならびに光合成の解明に重要であるとともに、近年、衛星からの地表面探査においても、植生地などのアルベドに関するより多くの情報が要求されている。

Monteith and Szeicz (1961)は、裸地や牧草畑のアルベドと太陽高度との関係を調べるとともに、放射収支の解析から、純放射の単位の変化に対する長波有効放射の変化として heating coefficient を定義し、純放射を入射短波放射の関数として表した。これに対し、Idso *et al.*, (1969)と Davies and Buttymor (1969)は、純放射は入射短波放射、吸収短波放射のいずれとも高い相関があることなどから heating coefficient の有意性に疑問を示した。

耕地の短波放射環境については、蒸発散研究グループ (1967)の水稲田、松田ら (1972)の砂丘地、岸田 (1973)の芝生や水稲田における放射スペクトルに関する詳細な測定があるが、種々の耕地の同時期における放射環境を比較した研究は必ずしも多くない。さらに、短波放射と純放射との関係については、小倉 (1968)と岩切 (1971)のガラス室での測定などがあるが、種々の耕地でそれらの関係を調べた報告は少ないようである。

本報では、裸地、カンショ畑、芝生及びミカン園において、放射計の設置高度を十分に考慮して、入射及び反射短波放射、純放射、ならびに、全波長放射を測定し、アルベドと放射収支各項の日変化、純放射と吸収短波放射との関係などを群落構造の違いと対比して調べた。さらに、長波有効放射と純放射との関係及び表面温度の測

定値から、heating coefficient の有用性について検討した。

2. 測 定 方 法

放射の測定は、裸地とカンショならびに芝生植被及び温州ミカン園について行なった。

裸地は、花崗岩系砂質壤土である。カンショは農林 14 号を平坦な畑地に栽培し、測定は十分繁茂した時に行なった。芝生上での放射測定は、草丈の短い高麗芝で行なった。これらの面積は約 $6\text{ m} \times 6\text{ m}$ であった。温州ミカン園は、平地に植えた南柑 4 号の 10 年生の樹で、樹冠の直径は約 2 m、栽植間隔は約 2.5 m であり、隣接樹冠との間には少し空地があった。

放射計の設置高度については、一般に、有限面からの放射量を測定する場合、放射計の受光面と測定対象面との間の形態係数 (武智, 1973) と測定対象面にできる放射計の影の影響 (Idso and Cooley, 1972) が問題となる。ここではあらかじめ放射計の設置高度と放射量の関係を調べ、 $6\text{ m} \times 6\text{ m}$ の面では、面上の約 40 cm 以上の高度では放射計の影の影響がほとんど無視でき、約 200 cm 以下の高度では測定対象面以外の周囲面からの放射の影響がほとんど無視できることがわかった。このことから、裸地、カンショ畑および芝生上での放射の測定高度は、面上 100 cm とした。温州ミカン園の場合には、樹冠は均一ではなく、さらに樹間に空地が存在する不連続植被であるので、樹冠が平坦で比較的均一な樹を選び、樹冠表層から約 50 cm の樹冠中央の上部に放射計を設置した。

短波放射の測定には、Eppley 型日射計を基準測器として比較検定した農試電試型日射計を用いた。

純放射は、ポリエチレン被覆の Funk 型放射計で測定した。また、この放射計の片面に内部が黒体塗装の金属アダプターを付けて、放射計出力に金属アダプターの内

昭和 45 年 10 月 29 日 秋季大会にて発表

昭和 54 年 4 月 2 日 全国大会にて補足発表

昭和 59 年 1 月 4 日 受理

面温度での黒体放射を加算し、上向き全波長放射の測定も行なった。ただし、ポリエチレン被覆の純放射計は、短波放射に対する感度が約5%大きいことが知られており (Idso, 1970), 著者の直達光遮蔽による検定でも同様な結果が得られたので、純放射ならびに全波長放射の測定値に同時に測定した短波放射の5%分をそれぞれ減ずる補正を行なった。

これらの放射測定値から、耕地の上向き長波放射、長波有効放射及び大気放射は、それぞれ、次のような方法で求められた。

まず、耕地からの上向き長波放射は、上向き全波長放射と反射短波放射との差である。一方、これは耕地の表面温度での黒体放射の計算から近似的に求められる。また、長波有効放射は、純放射と吸収短波放射との差である。

次に、大気放射は、長波有効放射と上向き長波放射の差である。また、Brunt の大気放射の式からも求められる。

$$R_l \downarrow = (0.51 + 0.066 \sqrt{e}) \sigma T_a^4$$

ここに、 $R_l \downarrow$ は大気放射 (ly/min); e , 水蒸気張力 (mb); σ , Stefan-Boltzmann 定数; T_a , 気温 ($^{\circ}\text{K}$), である。式中の数値は、山本 (1950) が求めた値である。この計算には、放射測定を行なった圃場の近くにある百葉箱内の自記温湿度計で測定した気温と相対湿度を用いた。

裸地の表面温度の測定には、直径 0.1 mm の銅・コンスタンタン熱電対を用い、測温部を接着剤で面に貼付し、その上に熱電対線がかくれる程度に細かい土を薄く被覆して表面温度とした。カンショ及びミカンの葉温は、上記と同径の熱電対を用い、測温部を水平葉の裏面中央付近に貼付して測定した。

これらはすべて電子式記録計に接続し、15 分間の平均値によって整理した。

3. 測定結果及び考察

3.1 アルベドの日変化

Fig. 1 は、裸地 (表層土壌の含水比は約 2%)、カンショ畑、芝生及びミカン樹の 8 月または 9 月の晴天日に測定したアルベドの日変化である。

アルベドは、いずれの場合も太陽高度の高い日中において小さく、日出後あるいは日没前の太陽高度の低い時に大きくなる日変化を示した。

アルベドが太陽高度によって変わる原因については、日射計の特性 (Fritschen, 1967; Stanhill *et al.*, 1971 など), 直達光の葉面への入射角による葉面の反射率の変化 (Chia, 1967 など), 水平面に入射する日射ス

Fig. 1. Changes in albedo of bare soil and vegetation on clear days of August or September.

ペクトルの太陽高度による変化及び植被における反射短波放射のスペクトルに起因する短波放射反射率の変化 (岸田, 1968; Lemeur and Rosenberg, 1975 など) などがある。

これらのことから、上に得られたアルベドの日変化を詳細に比較するためには、日変化の原因を上記のそれぞれについて明らかにしておく必要があるが、ここでは、アルベドを測定した植被を群落構造によって、1) 主として水平葉であるもの (カンショ), 2) 主として鉛直葉であるもの (芝生), 3) 種々の方向と方位に分布した葉をもつもの (ミカン樹), の三つに大別し考察した。

Fig. 1 に示したカンショのアルベドが、およそ 40° 以上の太陽高度 (9 時頃から 15 時頃までの間) の場合にほぼ一定であることは、原因の考察はなされていないが Davies and Buttymor (1969) のコショウやタバコの結果とほぼ同じである。これらの植被では水平葉が多いの

で、太陽高度がある程度高くなると、入射短波放射の大部分が群落上層の水平葉で反射されるため、アルベドの変化が小さくなったものと考えられる。

次に、芝生のアルベドが、太陽高度の増大にともなって徐々に小さくなり、太陽高度が最大のとき最小になることは、Monteith and Szeicz (1961)、蒸発散研究グループ(1967)及びDavies and Buttior (1969)の、それぞれ、牧草、水稻および小麦植被における結果と一致している。なお、上記の報告ではアルベドの日変化型についての考察は行なわれていない。これらの鉛直葉が多い植被の場合には、太陽高度とともに直達光の群落内部への透入が増大し、群落内部での反射と再吸収のため、太陽高度の増大にともなってアルベドが小さくなったものと考えられる。

また、ミカン樹のアルベドは、太陽高度が特に低い場合を除けば0.16～0.19である。Stanhill *et al.*, (1966)のミカン園におけるアルベド測定では、日変化の傾向は明らかにされていないが年平均のアルベドは0.17であり、ここで得られた結果とはほぼ一致している。ミカン樹のアルベドは、先にあげた水平葉と鉛直葉植被の中間型の日変化を示しており、Mukammal (1971)などの報告に見られる森林でのアルベドの日変化の型に近い。ここで、他の植被と比較してミカン樹のアルベドが小さい理由は、ミカン樹では群落が深く、樹冠内部に透入した日射が下層の枝葉や樹冠下の地面で反射され、それが上部の枝葉によって再吸収されるためであると考えられる。

Fig. 2 は、上記と同じミカン樹の群落構造の変化がアルベドの日変化に及ぼす影響をみるための参考として、2月の晴天日におけるミカン樹の剪定前後のアルベドの日変化を比較したものである。剪定前後のアルベドの日変化の傾向は同じであったが、剪定によってアルベドは剪定前より0.01～0.04小さくなった。剪定によるアルベド低下の原因は、剪定によって樹冠の枝葉が減少し、内部へ透入する短波放射の割合が増大した結果である。

Fig. 2. Albedo of citrus tree, before (triangles) and after (solid circles) pruning in February.

3.2 放射収支各項

耕地の放射収支式は、次のように表される。

$$R_n = R_s \downarrow - R_s \uparrow + R_l \downarrow - R_l \uparrow$$

ここに、 R_n は純放射； $R_s \downarrow$ 、入射短波放射； $R_s \uparrow$ 、反射短波放射； $R_l \downarrow$ 、大気放射； $R_l \uparrow$ 、耕地からの上向き長波放射である。これらの単位はいずれも ly/min である。

ここで、短波放射のアルベドを α 、長波有効放射を L とすると、上式は次のように表される。

$$R_n = (1 - \alpha) R_s \downarrow + L \quad (1)$$

さらに、純放射と吸収短波放射の関係から、次の回帰式が求められている。

$$R_n = a(1 - \alpha) R_s \downarrow + b \quad (2)$$

ここに a 、 b は定数である。

(1)式と(2)式から、Monteith and Szeicz (1961) は、次式によって heating coefficient (β) を定義した。

$$\beta = (1 - a) / a$$

β を用いて、長波有効放射 (L) は、

$$L = b / a - \beta R_n \quad (3)$$

と表される。この heating coefficient は表面の加熱の程度を表すものであると説明されている。

Fig. 3 は、乾燥した裸地の放射収支各項の日変化である。入射短波放射 ($R_s \downarrow$)、反射短波放射 ($R_s \uparrow$)、純放射 (R_n) は、それぞれ、放射計による測定値である。長波有効放射 (L)、地面からの上向き長波放射 ($R_l \uparrow$) 及び大気放射 ($R_l \downarrow$) は、それぞれ、前述の方法によって求めた。

Fig. 3. Changes in radiation balance components over bare soil on a clear day. $R_s \downarrow$, incoming short-wave radiation from sun and sky; $R_s \uparrow$, reflected short-wave radiation from the surface; $R_l \downarrow$, downward long-wave radiation from the atmosphere, $R_l \uparrow$, upward long-wave radiation from the surface; L , net long-wave radiation; R_n , net radiation for all wavelengths.

図は、8月の晴天日の例であるが、入射短波放射は晴天日の通常の日変化を示しており、正午すぎには約 1.2 ly/min となった。反射短波放射は、入射短波放射とともに増大した。

純放射は、夜間には -0.1 ly/min 程度であったが、日中は入射短波放射にほぼ比例して増大し、正午すぎには 0.65 ly/min となった。また、純放射が0になるときの入射短波放射は、約 0.2 ly/min であった。

次に、地面からの上向き長波放射は、夜間はほぼ一定の -0.62 ly/min であったが、日出後は地面温度の上昇とともに増大し、地面温度が日最高の約 55°C になる13時過ぎには、 -0.91 ly/min になった。一方、この値は地面温度での黒体放射に地面の放射率を 0.95 として求めた計算値と昼夜ともほぼ一致した。また、昼間の長波有効放射は、反射短波放射とほぼ同じであった。

大気放射は、夜間はほぼ一定で 0.54 ly/min 前後であったが、昼間はやや増大し、13時過ぎには 0.64 ly/min となった。この実測値は、Bruntの式による大気放射の計算値とほぼ一致した。

Fig. 4は、9月の晴天日に測定したカンショ植被における放射収支各項の日変化である。

入射短波放射、反射短波放射及び純放射の日変化の傾向は、裸地の場合とほぼ同じであった。上向き長波放射は、夜間はほぼ一定で -0.57 ly/min であった。しかし、日中葉温が高くなるとともにゆるやかに増大し、13時頃には -0.67 ly/min となり、この値は裸地に比べてかなり小さかった。また、長波有効放射の日変化は小さく、日中は夜間よりわずかに増大する程度であった。

一方、大気放射は、夜間はほぼ一定であったが、昼間は、上向き長波放射とほぼ同様な日変化を示した。この値は、夜間はBruntの式による値とほぼ一致したが、日

中は計算値よりやや大きかった。

10月の晴天日に測定したミカン樹の放射収支各項の日変化は、図にはあげていないが、反射短波放射がやや小さい以外は裸地の場合とほぼ同じであった。

ところで、裸地、カンショ植被及びミカン樹における放射収支各項の日変化のうち、いくつかを、他の報告と比較すると次のようである。

日中の長波有効放射は、裸地ならびにミカン樹上での測定結果では反射短波放射とほぼ等しく、Idso *et al.*, (1969)の裸地での結果に近かったが、Monteith and Szeicz (1961)の裸地での長波有効放射が反射短波放射の約2倍であるという結果とは一致しなかった。この不一致は、Monteith and Szeiczが測定した裸地のアルベドが本論文での値よりかなり小さかったことが原因である。

次に、長波有効放射と上向き長波放射との差から間接的に求めた大気放射は、裸地 (Fig. 3) 及びミカン樹上の場合にはBruntの式による大気放射の計算値と昼夜間ともにほぼ一致した。しかし、カンショ植被 (Fig. 4) では、夜間はほぼ一致したが昼間は最大で約9% Bruntの式による計算値の方が小さかった。

百葉箱高さの気温に基づく大気放射の計算値は、夜間は実測値よりも小さく、逆に昼間は過大評価することが知られている (Monteith and Szeicz, 1962; Paltridge, 1970; Idso, 1972) が、本報の測定結果ではこのような系統的な差異は認められなかった。Idso *et al.*, (1969)は、地上の観測者には検出できない高層の巻雲が大気放射の変動と関連があることを指摘しているが、前述のカンショ植被の放射測定から求めた大気放射がBruntの式による計算値より大きくなった原因は、高層の雲の存在によるものと推察される。ここでは、大気放射がStanhill *et al.*, (1966), Idso *et al.*, (1969)の測定結果にみられるように日中大きく変動することがなかったことを確認したものであり、大気放射の測定ないし推定は、それ自体重要な事項であるのでより詳細な測定から明らかにする必要がある。

Fig. 5は、裸地及びカンショ植被の放射の日変化から得られた純放射と吸収短波放射との関係である。ミカン樹は、ここにあげた両者のほぼ中間に測点があるので省略した。

純放射と吸収短波放射との関係は、多少のばらつきはあるが、測定した放射の全範囲にわたってほぼ直線で表わされた。また、午前と午後の値を比較すると、同じ吸収短波放射の場合の純放射は、裸地とミカン樹においては午前中よりも午後の方が小さくなった。裸地とミカン樹の場合、吸収短波放射量がほぼ同じ時の午前と午後の

Fig. 4. Same as Fig. 3, over vegetation of sweet potato.

Fig. 5. Variation of net radiation, R_n , with net short-wave radiation, $(1-\alpha)R_s\downarrow$, over bare soil (lower) and sweet potato vegetation (upper) on clear days. Solid and open circles represent the measurements in the morning and in the afternoon, respectively.

地面温及びミカン葉温は、午後の方が数℃高く、この温度差に基づく長波放射の差は約 $3\sim 4\times 10^{-2}$ ly/min であり、この値は、同じ吸収短波放射量の場合の午前と午後との純放射の差にほぼ一致する (Monteith and Szeicz, 1961)。

カンショ植被では、上述の午前と午後との差はほとんどなく、むしろ逆に午後の方がやや大きい場合もみられた。午前と午後と同じ吸収短波放射の場合のカンショの葉温は、午後の方が午前より高くなっているにもかかわらずこのような結果になったのは、大気放射の若干の変動によるものと考えられる (Idso *et al.*, 1969)。

純放射と吸収短波放射との関係を表す回帰式は、裸地、カンショ及びミカン樹について、それぞれ、次のようになった (単位は ly/min)。

$$R_n = 0.834 (1-\alpha) R_s\downarrow - 0.093 \quad (r^2 = 0.997)$$

$$R_n = 0.990 (1-\alpha) R_s\downarrow - 0.061 \quad (r^2 = 0.996)$$

$$R_n = 0.913 (1-\alpha) R_s\downarrow - 0.111 \quad (r^2 = 0.997)$$

ここに、 r^2 は回帰式の決定係数である。

各回帰式の勾配及び定数の標準偏差は、それぞれ上から順に、 ± 0.005 , ± 0.003 ; ± 0.024 , ± 0.015 ; ± 0.009 , ± 0.006 となった。

上にあげた純放射と吸収短波放射の回帰式の勾配とその標準偏差から、heating coefficient (β) は、それぞれ、0.20, 0.01, 0.10 となった。

3.3 長波有効放射と純放射

(3)式の a , b 及び β は、純放射と吸収短波放射との

Fig. 6. Variation of net long-wave radiation, L , with net radiation, R_n , over bare soil and vegetation on clear days. Solid and open circles are explained in the caption of Fig. 5.

関係から決まる定数であるので、長波有効放射 (L) と純放射 (R_n) との関係は直線で表される。

Fig. 6 は、裸地、カンショ植被及びミカン樹の放射測定から得られた長波有効放射と純放射との関係である。

図中の直線は、先に得られた heating coefficient の値を (3) 式に代入して得られた直線である。

いずれの場合も、長波有効放射損失量は純放射とともに増大している。Stanhill *et al.*, (1966), Idso *et al.*, (1969) などは、heating coefficient が負になる例を報告しているが、著者らが測定した晴天日の通常の気象条件下では負になる例はみられなかった。このことは、Monteith and Szeicz (1961) が報告したように、heating coefficient は、純放射の単位当りの長波有効放射の変化を表し、さらに表面の加熱の程度を表すという説明を確認したと考えられる。この事実と Idso (1969) などの大気放射が変化する場合の測定結果とを考え合わせると、大気放射がほぼ一定という条件下 (Fig. 4 及び 5) では、heating coefficient は表面加熱度を示す物理的意味をもつものと結論づけられる。

4. ま と め

裸地、カンショ、芝生及びミカンの植被における放射測定とその解析を行ない、次の結果を得た。

1) 乾燥した裸地及び水平葉が多いカンショ植被のアルベドは、太陽高度がおよそ 40° 以上では約 0.23~0.24 でほぼ一定であるが、太陽高度の低い日出後及び日没前

では大きくなり 0.3 を超えた。

芝生のような鉛直葉が多い植被のアルベドは、太陽高度が最大のときに最小となり、太陽高度の低下にともなって大きくなった。

ミカン植被のアルベドは他の植被のそれに比べると小さく、森林のアルベドの日変化型に近かった。また枝葉の剪定によってアルベドは低下した。

これらの植被の種類によるアルベドの日変化型は、葉の形態や群落の構造の違いによる短波放射の植被内への透入量の差によるものである。

2) 晴天日の大気放射の測定値は、夜間には Brunt の式から求めた値とほぼ一致するが、日中はそれよりやや大きかった。

3) 裸地、カンショ及びミカン植被のそれぞれの純放射と吸収短波放射との関係を表す回帰式の係数から求めた heating coefficient は、それぞれ、0.20, 0.01, 0.10 であった。これらの値は、表面の昇温が著しいものほど大きかった。

4) 大気放射に大きな変動がない場合に限り、heating coefficient は表面の加熱の程度を表すものであることが認められた。

引用文献

- 1) Chia, L. S., 1967: Albedo of natural surfaces in Barbados. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **93**, 116–120.
- 2) Davies, J. A. and Buttior, P. H., 1969: Reflection coefficients, heating coefficients and net radiation at Simcoe, Southern Ontario. *Agr. Meteorol.*, **6**, 373–386.
- 3) Fritschen, L. J., 1967: Net and solar radiation relations over irrigated field crops. *Agr. Meteorol.*, **4**, 55–62.
- 4) Idso, S. B., 1970: The relative sensitivities of polyethylene shielded net radiometers for short and long wave radiation. *Rev. Sci. Instr.*, **41**, 939–943.
- 5) Idso, S. B., 1972: Systematic deviations of clear sky atmospheric thermal radiation from predictions of empirical formulae. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **98**, 399–401.
- 6) Idso, S. B., Baker, D. G. and Blad, B. L., 1969: Relation of radiation fluxes over natural surfaces. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **95**, 244–257.
- 7) Idso, S. B. and Cooley, K. R., 1972: The vertical location of net radiometers II. The effect of the net radiometer's shadow. *J. Meteor. Soc. Japan*, **50**, 49–56.
- 8) 岩切 敏, 1969: ガラス室の気象(2) — 放射ならびに湿度環境について —, 農業気象, **24**, 185–191.
- 9) 蒸発散研究グループ, 1967: 水田の放射状態について, **22**, 97–102.
- 10) 岸田恭允, 1968: 芝生面の放射スペクトル収支, 昭和 43 年度日本農業気象学会秋期大会講演要旨, 15.
- 11) 岸田恭允, 1973: 耕地の放射エネルギー利用に関する農業気象学的研究 [I] — 緒論および植物群落の波長別放射収支 —, 九州農試報告, **17**, 1–79.
- 12) Lemeur, R. and Rosenberg, N. J., 1975: Reflectant induced modification of soybean canopy radiation balance. II. A quantitative and qualitative analysis of radiation reflected from a green soybean canopy. *Agron. J.*, **67**, 301–306.
- 13) 松田昭美・矢野友久・長 智男, 1972: 砂丘地の微気象(1) — 放射状態について —, 農業気象, **28**, 11–17.
- 14) Monteith, J. L. and Szeicz, G., 1961: The radiation balance of bare soil and vegetation. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **87**, 159–170.
- 15) Monteith, J. L. and Szeicz, G., 1962: Radiative temperature in the heat balance of natural surfaces. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **88**, 496–507.
- 16) Mukammal, E. I., 1971: Some aspects of radiant energy in a pine forest. *Arch. Met. Geophys. Biokl.*, **B, 19**, 29–52.
- 17) 小倉祐幸, 1968: 空気調和ガラス室の純放射および短波放射について, 農業気象, **24**, 1–5.
- 18) Paltridge, G. W., 1970: Day-time long-wave radiation from the sky. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **96**, 645–653.
- 19) Stanhill, G., Hofstede, G. J. and Kalma, J. D., 1966: Radiation balance of natural and agricultural vegetation. *Quart. J. R. Met. Soc.*, **92**, 128–140.
- 20) 武智 修, 1973: みかん園の微気象と葉の熱収支に関する研究, 愛媛大学農学部紀要, **17**, 134–142.
- 21) 山本義一, 1950: 夜間輻射について(第 2 報, 数値計算), 気象集誌, 第二輯, **28**, 11–20.

Summary

Incoming and reflected short-wave radiations, net radiation and radiation of all wavelengths were measured over surfaces of bare soil and vegetation of sweet potato, short grass sod and citrus in clear summer days. Albedo, net short-wave radiation, downward long-wave radiation from the atmosphere and upward long-wave radiation from the surface were evaluated after the measurement.

Over dry bare soil and sweet potato vegetation with many nearly horizontal leaves, albedo showed relatively little variation for sun elevations more than about 40° ; for sun elevations less than about 40° the value of albedo increased with decreasing sun elevation until it exceeded 0.3 immediately after sunrise and before sunset. For the vegetation of short grass sod with many straight leaves, albedo varied as a function of sun elevation including high elevations, i.e., it decreased with increasing sun elevation. The value of albedo of citrus trees was lower than those of the above crops and its diurnal change resembled that of a forest. Pruning of branches of citrus trees reduced the albedo, due to an increase in penetrating solar radiation into canopy.

At clear night, the values of atmospheric radiation which were evaluated from the measurement were in fairly good agreement with the predictions of "Brunt's empirical formula", while in the clear daytime the measurement was slightly higher than the calculation.

The values of "heating coefficient" obtained from the regression of net radiation on net short-wave radiation were 0.20 for bare soil, 0.01 for sweet potato vegetation and 0.10 for citrus trees. "Heating coefficient" was larger in the case of greater surface heating. It was found that the coefficient was valid under the conditions of steady atmospheric radiation.