

地表面水分量と地表面温度の変化との関係について

玉川 一郎・山田 道夫・池淵 周一・光田 寧

ON THE RELATION BETWEEN THE TIME CHANGE RATE OF SOIL SURFACE TEMPERATURE AND SOIL SURFACE MOISTURE

By Ichirou TAMAGAWA, Michio YAMADA, Shuichi IKEBUCHI,
and Yasushi MITSUTA

Synopsis

Influence of soil surface moisture of the time change rate of soil surface temperature is studied. In the case of high soil moisture, the surface temperature change rate is smaller than the low soil moisture case. In time period 8:30 to 9:30, when heat exchange with atmosphere is small, the relation between soil surface moisture and soil surface temperature change normalized by net radiation is in proportional relation, and its proportional constant roughly corresponds to the soil heat capacity increase by soil moisture in the soil layer of 15 cm deep.

1. は じ め に

地面の水分量は、土壌の熱的性質に影響を与え、或いは、蒸発量に影響を与え、結果として地面の温度変化に影響を与えと考えられる。では、実際にどれほどの影響が与えられるのか、又、それが分かれば、逆に温度変化から水分量を推定できないかという事が考えられる。特に人工衛星による地面放射温度の測定から、その場所の水分量が推定できれば、それは非常に有効な調査手段となる。そこで、熱収支、水収支の総合的観測を目標に作られた京都大学防災研究所の地空相互作用観測設備で得られたデータを用い、その調査を行った。

2. 観 測 資 料

地表面温度のデータとしては、放射温度計（チノ社製 パイロスコープL、及びミクロン社製 M67）によるものが使用でき、地表面水分量のデータとしては、赤外線水分計（チノ社製 IRM 200）によるものが使用できる。赤外線水分計は、3波長の赤外線を地表面に向けて投光し、その反射光の差から水分による吸収量を求め、水分量に換算する測器である。換算の為に他の方法によって求めた水分量との比較検定が必要であるが、他の方法では、連続して観測する事が難しい地表面の水分量を、連続して観測できるのが特長である。太陽放射量、及び正味放射量、その他の気象資料は地空相互作用観測設備¹⁾のものをを用いる。なお、地空相互作用観測設備試験地の地表の状態は、ほぼ裸地である。

3. 地表面水分の観測例

地表面水分計は、1987年6月に設置され、以来連続して観測を続けているが、そのうちの晴天日と降雨日の例を Fig. 1 に示す。ここで水分量の単位は、湿潤土壌に対する水分の重量パーセントである。晴天日の

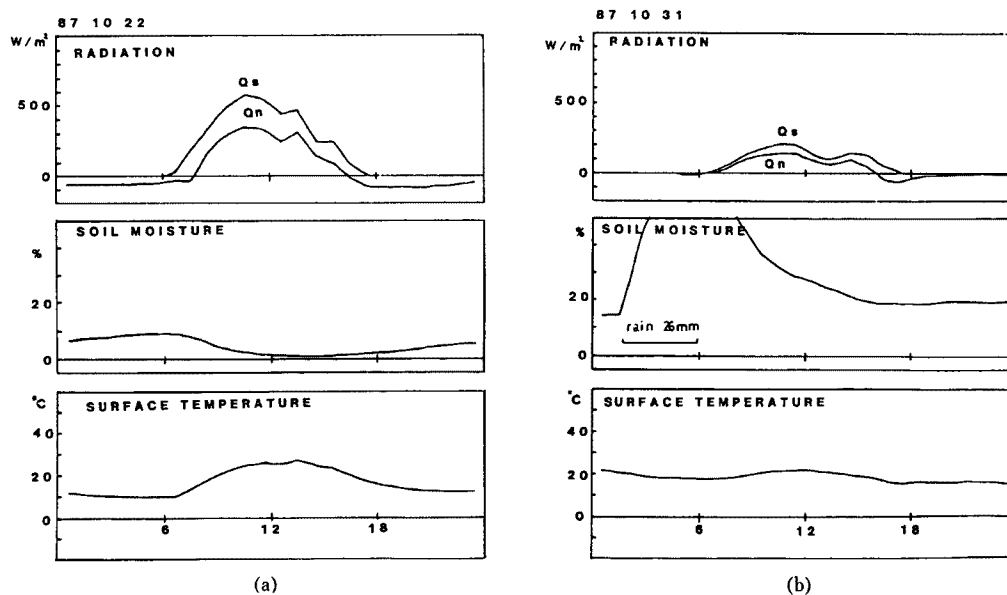


Fig. 1. Examples of soil surface moisture observation. Q_s means solar radiation flux, and Q_n net radiation. The unit of soil surface moisture is the weight percentage of water to wet soil.

例では、昼間に地表面水分量が減少し、夜間に増加する日変化が見られるが、これは、晴天日に典型的な現象である。又、降雨日の例については、降雨後数時間で地表面水分量は急速に減少し、20パーセント程度に落着くのが見られる。従ってこのあたりが、ここの土壌が普通に水を含む限界であると考えられる。よって、地表面水分量の普通に変動する範囲は、0 から20パーセント程度であるとし、この範囲で地表面温度の変化に対する影響をみることにした。

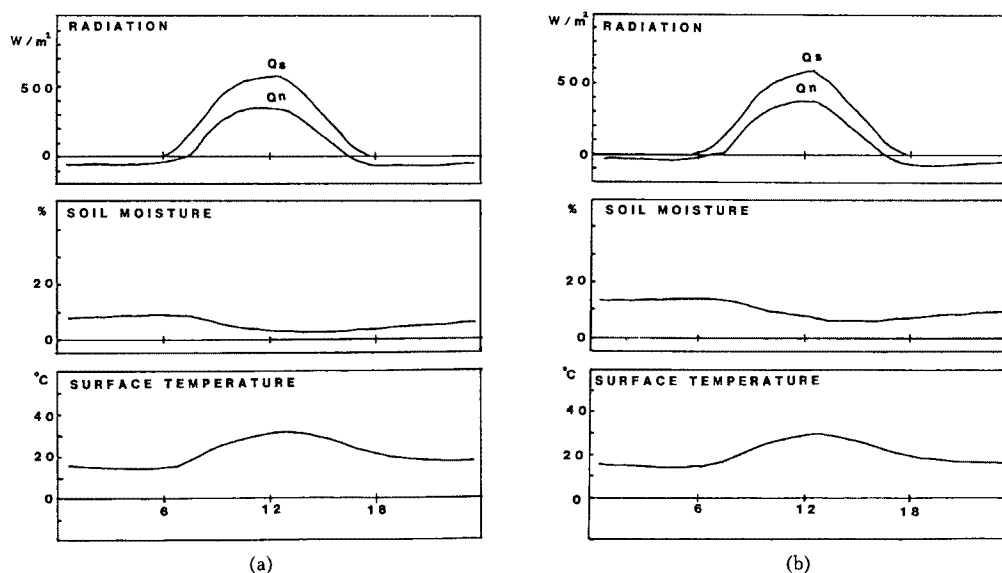


Fig. 2. Averaged solar radiation, net radiation, soil surface moisture, and surface temperature. 2a is averaged from hourly mean data of 17 fine weather days in Oct. 1987, and 2b is from 8 days with more than 5% soil surface moisture in 2a.

4. 地表面温度変化と地表面水分量との対応

まず、地表面水分量が、地表面温度の変化に影響を与えている事を確かめる為に、1987年10月の晴天日のデータについて、晴天日全体の平均と、その中で地表面水分量が日平均値で5%以上の日のみの平均を図示

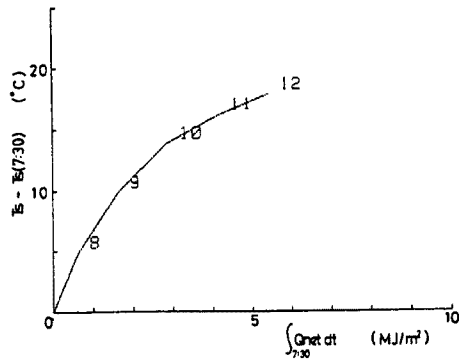


Fig. 3. Relation between surface temperature increment from 7:30 and accumulated net radiation flux from 7:30.

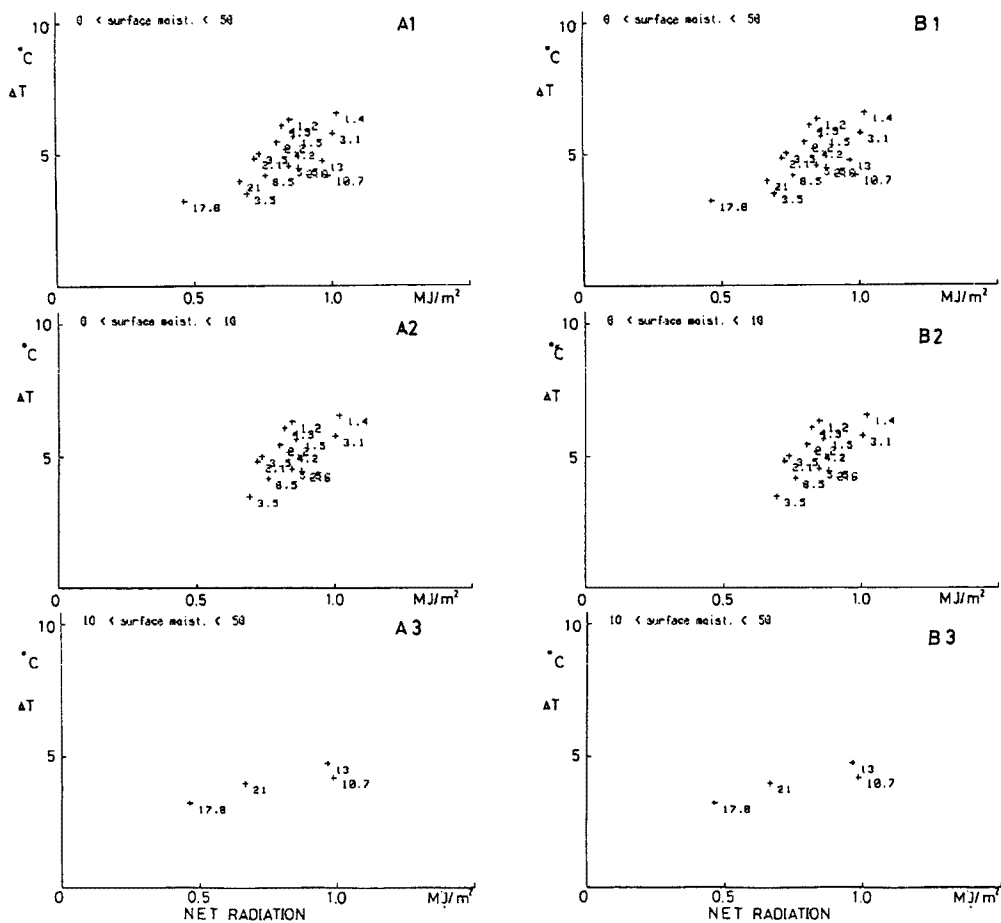


Fig. 4. Relation between net radiation and surface temperature increment from 8:30 to 9:30. A1, A2, and A3 show the relation in the fine weather days in Oct. 1987, B1, B2, and B3, the fine weather days in Feb. 1988. Numbers show soil surface moisture at that time.

してみた (Fig. 2 a, b)。図を見ると、地表面が受けとる放射熱を示す太陽放射量、正味放射量や、地表面温度が最高となる時刻は、あまり変わらないのに対し、地表面温度の時間変化量は、地表面水分量の多い日の平均を示す Fig. 2 b の方が小さく、水分量の多少が地表面温度の変化に影響を与えている事が分かる。特にこれは午前中の上昇率について顕著である。

地表面は、太陽や大気より放射熱を受け、自身赤外放射を行い、又、大気と顕熱や潜熱の形で熱交換を行ったり、より深い地中とも熱交換を行って、その結果地表面温度は変化すると考えられる。そこで放射熱の総量である正味放射量を考えると、地表面の温度変化に利用される熱は、これから大気への熱輸送量と地中への熱伝導量を差し引いたものとなる。これらの熱のうち、大気への熱輸送量は、大気が不安定となる昼間に大きくなり、その大きさは、その時の風速や大気の安定度等の影響が大きく複雑である。そこで、それを避けて、晴天日の午前中の適当な時間で考えると、問題を簡単化する事ができる可能性がある。Fig. 3 は、晴天日の午前中に地表面温度の変化に対して、正味放射量がどれぐらいの影響を及ぼすのかを見る為に、7時30分を起点としてそれからの正味放射量の総量と、地表面温度の上昇量をプロットしたものである。1987年の10月の各日の1時間平均値から求めた晴天日の平均値について描いた図であるが、1988年2月に対しても同様の図が描ける。図によると9時30分の点の前後で勾配が変わり、それ以前は、ほぼ直線的に上昇していた地表面温度が、それ以降、曲線的に変化する様になり勾配も小さくなる。この事は大気との熱交換量の影響が9時30分のあたり以降で増大する事を示している。そこで、それ以前の8時30分から9時30分の間をとって解析を行う事にした。これは、大気s温度と地表面の温度が、おおよそ等しくなる時に当たる。Fig. 4 は、その時間の地表面温度の上昇量を正味放射量に対してプロットしたもので、添えられた数字は

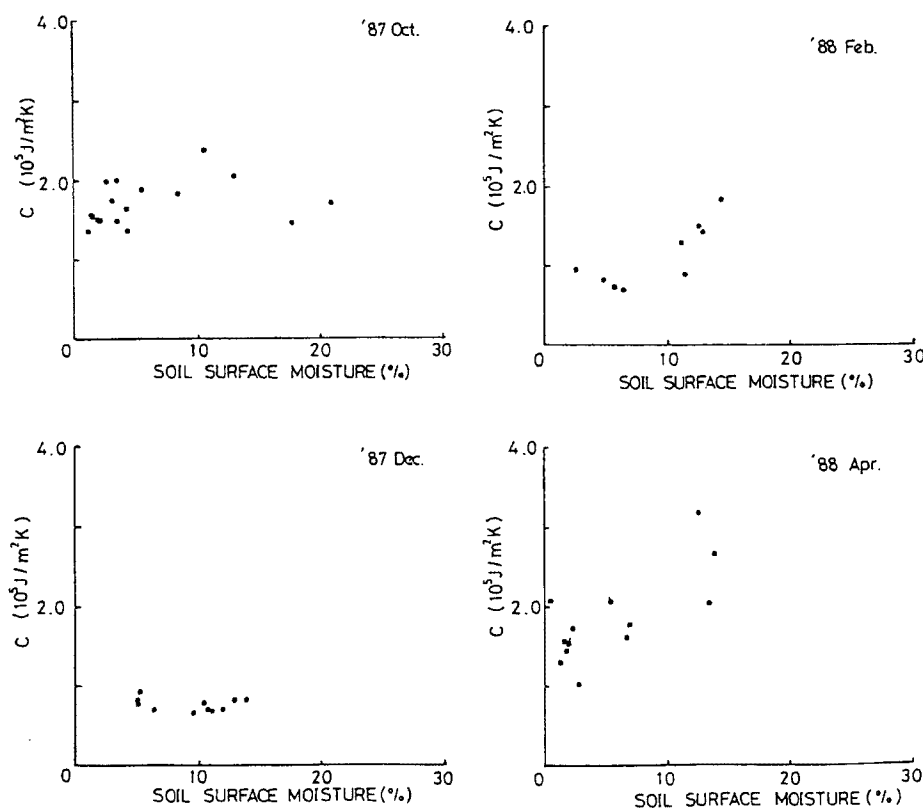


Fig. 5. Relation between soil surface moisture and apparent soil surface heat capacity. Apparent soil surface heat capacity is the reciprocal number of the gradient of the line passing through the plotted point and origin in Fig. 4.

その時の地表面水分量を示している。Fig. 4 の A1 と B1 は全ての点を、A2 と B2 は水分量が10%以下の点を、A3 と B3 は10%以上の点を、それぞれプロットしたものである。1987年10月と1988年2月についての図を示したが、どちらの図でも、同程度の水分量なら各点は、ほぼ原点を通る直線上に位置し、その勾配は水分量が大い程小さく、水分量の増加によって温度上昇が押さえられる事が分かる。そこで、1987年10月、12月、1988年2月、4月の資料について、Fig. 4 の勾配と水分量との関係を見る為に、この勾配の逆数が、地表面のみかけの熱容量と見做せるところから、この勾配の逆数を、地表面水分量に対してプロットしたのが、次の Fig. 5 である。これを見ると、水分量の増加に伴い、みかけの熱容量が増加するのが分かる。Fig. 5 の4ヶ月の晴天日の資料を、気温5°Cで分けて図示したのが、Fig. 6 である。点のちらばりは大きいですが、気温5°C以上の図では、水分量の影響は、はっきりと見られる。気温5°C以下の図では、関係は明確ではなく、地面の凍結等の影響が考えられるので、さし当っては、気温5°C以上のものについて解析を進める。

地面の熱容量の水分量による増加を見積ってみると、土のみかけの密度を ρ_s 、比熱を C_s 、水の比熱を C_w とし、水分を x パーセント含む厚さ d の土層の場合、熱容量 C は1次近似で

$$C = (\rho_s C_s + \rho_s C_w x / 100) d \dots \dots \dots (1)$$

と表わすことができる。ここでは、 ρ_s を実測の空隙率46%より、 $1.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ と推定し、 C_s 、 C_w に、それぞれ、 8×10^2 、 $4.2 \times 10^3 \text{ J/kg} \cdot \text{g}$ を代入すると、(1)式は

$$C = (9.6 \times 10^5 + 5.0 \times 10^4 x) d \dots \dots \dots (2)$$

となる。従って $d \sim 15 \text{ cm}$ とすると、気温5°C以上の図の勾配と良く合わせる事ができる。従って8時30分から9時30分での地表面温度の変化は、地表から15 cm ぐらゐの土壌の熱容量の変化である程度説明できる事を示している。

5. 結 び

地表面水分量と地表面温度の変化との対応を調べたが、地面の凍結等の異常が考えられる日を除いて、地表面水分量は、確かに地表面温度の変化に影響を与え、水分量の増加は、温度の時間変化率の減少につながる事、又、大気と熱交換量の少ない時間帯である8時30分から9時30分を選べば、正味放射量で関係を規格化でき、それは、水分量の増加による地面の熱容量の増加の見積りとも比較的良く一致する結果が得られる事が分かった。

参 考 文 献

- 1) 光田 寧・池淵周一・文字信貴・小尻利治・玉川一郎：大気と地表面間におけるエネルギー交換過程の観測(2)，京大防災研年報，第30号B-1，1987，pp. 287-295.

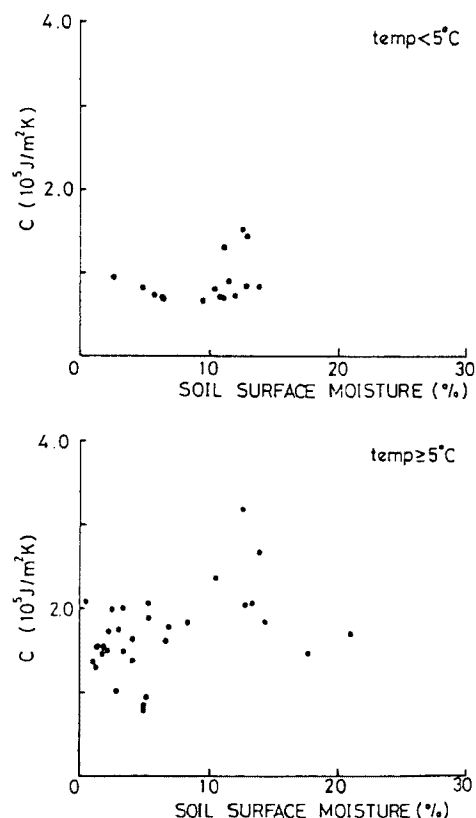


Fig. 6. Same as Fig. 5 for Oct. 1987, Dec. 1987, Feb. 1988, and Apr. 1988.