



Title	赤外放射温度計による畑地および森林の群落表面温度の研究
Author(s)	王, 秀峰; Wang, Xiufeng; 堀口, 郁夫 他
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 18(4), 379-387
Issue Date	1993-11-29
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/12154">https://hdl.handle.net/2115/12154</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	18(4)_p379-387.pdf



# 赤外放射温度計による畑地および森林の 群落表面温度の研究

王 秀 峰・堀口 郁夫・町村 尚

(北海道大学農学部農業物理学研究室)

(平成5年5月10日受理)

## Studies on Canopy Surface Temperature for Crop Fields and Forest Measured by IR Thermometer

Xiufeng WANG, Ikou HORIGUCHI and Takasi MACHIMURA

(Laboratory of Agricultural Physics, Faculty of Agriculture,

Hokkaido University, Sapporo, 060, Japan)

### I. はじめに

最近、衛星から定常的に熱赤外放射を測定するようになった。これを使用して地表面温度を計算し、その値によって地上の種々な熱的現象の解明がされつつある。特に、地球規模の解析には衛星データの使用が不可欠で、衛星熱赤外データによる地球規模のデータベースも整備されつつある。衛星データは地上における測定のように、点のデータでなく面的なデータであり、空間的に密なデータである。しかし、観測間隔が長く、また地上の解析のためには晴れた日のデータしか利用できないため、時間的には粗なデータである。一方、衛星データは広範囲のデータで、地上で観測することが困難な場所のデータが含まれている。そのため衛星データは地上で得られない場所の日および月の平均値や最高・最低値の予測に利用されることが多い。これらの予測のためには衛星観測時間の表面温度と、日および月の平均値などの関係を知る必要がある。

衛星と同じような赤外放射温度計で測定した地上の表面温度の報告は多数あるが、群落表面温度の特性や衛星データから日および月の平均値や最高・最低値の計算のための研究はほとんど無い。そのため地上で赤外放射温度計によって畑地や森林の群落表面温度（以下、単に表面温度）を測定し、表面温度の特性および衛星データ利用のための基礎データを求めることを目的として解析を行った。

植生の上から赤外放射温度計によって表面温度を測定すると、これは平面的な表面温度でなく、植物の葉温や地面温度が含まれた立体的な表面温度である。したがって、赤外放射温度計による表面温度は、植物の種類、栽植方法、植物の被覆率など多くの要素の影響を受ける。今回の測定はこれらの影響を明らかにするため、3種類の作物と1種類の森林で測定を行った。

### II. 観測方法

地上における表面温度の測定は、1992年に北大農場の作物畑と北大苫小牧地方演習林の森林で行った。

#### A. 作物畑の表面温度の観測方法

作物畑は北大農場のダイズ畑、トウモロコシ畑、キャベツ畑の3か所について測定を行った。

##### 1. 測定畑の状態

ダイズ畑：

品 種 名一極早生枝豆サッポロミドリ、

栽植密度—20 cm×10 cm, 5月17日（播種）～

7月03日

20 cm×20 cm, 7月04日～7月24日

40 cm×20 cm, 7月25日～9月22日

（収穫）

圃場の広さ—11 m×8.5 m

トウモロコシ畑：

品種名—交代配スイートコーンハニーバンタム 36

栽植密度—45 cm×30 cm

圃場の広さ—9 m×8 m

キャベツ畑：

品種名—不明（苗を購入）

栽植密度—50 cm×50 cm（6月03日に移植）

圃場の広さ—9 m×8 m

## 2. 表面温度の測定法

表面温度計：赤外放射温度計（OPTEX HR-1P, 視野角度2°, 波長範囲7~20 μm）

測定法：作物畑上の1.7 mの高さから天頂角約45°でスキャン（首振り角80°）

測定間隔：15分ごとの自動記録

赤外放射温度計の出力は本体温度の影響をうける<sup>4)</sup>。赤外放射温度計の本体温度の影響を少なくするため、各赤外放射温度計の本体にヒータを巻つけて、温度制御器で30°Cを保つようにした。また、設定放射率は1とした。各赤外放射温度計の出力の補正のため、作物の表面温度の測定他に、参照板（放射率0.96の塗料を塗布したアルミ板）の表面温度を赤外放射温度計と熱電対で測定した。

補正は、基準にした赤外放射温度計と各作物畑で使用した赤外放射温度計で参照板の表面温度を測定し、熱電対で測定した参照板の表面温度との差について相関関係を求めて、その回帰式を補正式として利用した。

## 3. その他の気象要素の測定項目

気温：地上約1.5 m, 熱電対通風温度計

下向き放射強度：放射収支計（英弘精機製, F-11型）

日射量：精密全天日射計（英弘精機製, MS-801型）

## 4. 測定期間

ダイズ畑, トウモロコシ畑—1992年6月26日～

1992年9月21日

キャベツ畑—1992年6月26日～

1992年9月11日

## 5. 被覆率の測定

作物上約2.5 mから写真を撮影し、スキャナで作物部分の面積を読み取り、被覆率を求めた。

## B. 森林の表面温度の観測方法

森林の測定は北大苫小牧地方演習林の山の神地区

で行った。

## 1. 測定森林の状態

樹種は広葉樹で樹高は約10 mである。観測は13 mのタワーを用い、樹冠上約1.7 mの高さから表面温度を測定した。

## 2. 表面温度の測定法

表面温度の測定方法は作物畑の場合とほとんど同じである。ただし、参照板による補正を行っていないので、室内検定で求めた回帰式を利用して補正した。

表面温度計：赤外放射温度計（OPTEX HR-1P, 視野角度2°, 波長範囲7~20 μm）

測定法：樹冠上の1.7 mの高さから天頂角約45°でスキャン（首振り角80°）

測定間隔：10分ごとの自動記録

## 3. その他の気象要素の測定項目

気温：樹冠上約1.5 m, 熱電対通風温度計

下向き放射強度：放射収支計（英弘精機製, F-11型）

日射量：精密全天日射計（英弘精機製, MS-801型）

## 4. 測定期間

1992年5月01日～1992年10月31日

## 5. 被覆率の測定

森林の林床から上向きに写真を撮影し、スキャナで樹木部分の面積を読み取り、被覆率を求めた。

## C. 解析項目

解析は畑地や森林上から測定した表面温度の特徴、表面温度と気温の関係などについて行うと共に、衛星データ利用のための基礎的解析をした。

赤外放射温度計で測定した10分や15分間隔の表面温度ではバラツキが大きいため、移動平均（3回の測定値の移動平均）したデータについて解析を行った。また、曇りの日のデータも変動が大きいため、晴天日のデータについてのみ解析を行った。解析は次の7項目である。

1. 測定期間中の作物畑, 森林の被覆率の推移
2. 表面温度の日変化
3. 作物別の最高・最低表面温度の比較
4. 最高・最低表面温度と最高・最低気温の差
5. 表面温度の最高・最低値の出現時間
6. ノア通過時（02時（JST））の表面温度と最低表面温度の関係

7. ランドサット通過時(09時30分(JST))の表面温度と日平均表面温度および日最高表面温度の関係

### III. 結果および考察

#### A. 測定期間中の作物畑, 森林の被覆率の推移

Fig. 1 に測定期間中の作物畑, 森林の被覆率の推移を示した。ダイズ畑は2回間引き(7月03日と7月24日)を行ったため, 生育途中で被覆率の低下を示しているが, キャベツ畑とトウモロコシ畑の被覆率は8月中, 下旬まで生育時期の経過と共に増加している。すなわち, キャベツ畑の被覆率は7月08日の57%から8月27日の90%まで, トウモロコシ畑の被覆率は6月30日の10%から8月18日の72%まで増加し, その後両作物畑はほぼ一定の被覆率を示している。ダイズ畑の被覆率については, 7月18日に最大の98%を示したが間引き後は66.4%になり, さらに8月27日には83.4%まで増加し, 以後一定であった。

Fig. 1 に示されているように, トウモロコシ畑の最高の被覆率は他の作物畑より低く, また生育期間中も他の作物畑より常に低い被覆率を示した。

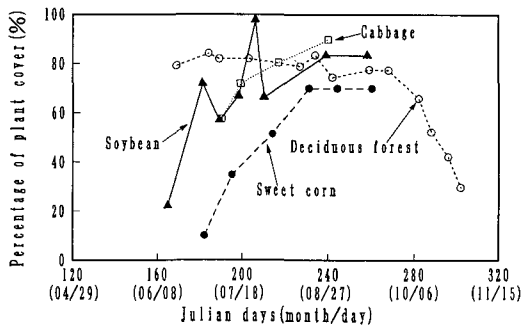


Fig. 1. Seasonal changes of plant covers.

これらの作物畑の被覆率の変化に対して, 森林の被覆率は測定開始の6月17日から高い被覆率(75~83%)を示している。この高い被覆率は9月下旬まで続き, 以後落葉のため低下している。

#### B. 表面温度の日変化

典型的な快晴日(7月07日)における作物畑の表面温度, 気温および日射の日変化の例を Fig. 2 に示した。Fig. 2 によると, 日中の作物畑の表面温度は気温より高く, 夜間は気温より低くなっている。

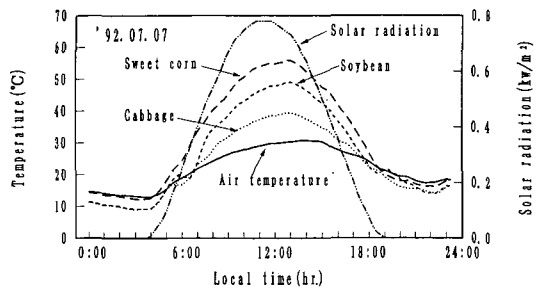


Fig. 2. Daily changes of solar radiation, air temperature and surface temperature for crop fields.

また, 作物畑によって表面温度は異なり, トウモロコシ畑が最も高く, 次いでダイズ畑, キャベツ畑の順である。日中の表面温度は作物の被覆率にも影響を受けるが, 7月07日の各作物の被覆率はダイズ畑が57.0%, キャベツ畑が57.6%, トウモロコシ畑が23.3%で, トウモロコシ畑の被覆率が最も小さかった。

作物畑の日中は表面温度が気温より高く, 夜間には気温より低い状態が, 観測期間中一般に見られた現象である。これは日中は日射の影響で気温より高くなり, 夜間は表面が放熱面のため低くなると考えられる。また, Fig. 2 によると最高表面温度の出現時間は気温の最高値より早く現れているが, 最低表面温度の出現時間は気温の最低値の出現時間と大きな差が無い。

森林についても典型的な快晴日の6月28日の表面温度, 気温および日射の日変化を Fig. 3 に示した。この時の森林の被覆率は75%であった。作物畑と同様に日中の表面温度は気温より高く, 夜間は気温より低い。また, 最高表面温度や最低表面温度の出現時間も作物畑と同様な状態を示しているように見える。最高表面温度や最低表面温度の出現時間

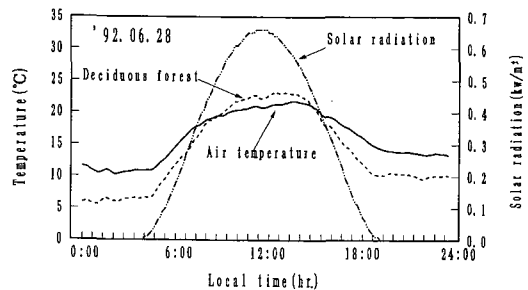


Fig. 3. Daily changes of solar radiation, air temperature and surface temperature for deciduous forest.

については、E. に詳細に解析した。

作物の被覆率が大きくなると表面温度は作物の葉温に近い変化を示し、被覆率が小さいと地面温度に近い変化を示すことは容易に想像できる。

葉温については、武智<sup>7,8)</sup> は日中の葉温は気温より高く、夜間は低いことを報告している。また、Linacre<sup>9)</sup> も多くの研究者の結果をまとめ、良く灌漑された圃場の作物の葉温は気温より高くなることを報告している。さらに、赤外放射温度計で測定した作物の表面温度について、Tanner<sup>9)</sup> は日中のアルファルファの表面温度は気温より5~10°C高く、夜間は5~10°C低いと報告している。

しかし、奥山<sup>9)</sup> は水稻の表面温度を赤外放射温度計で測定して、日中の表面温度が気温より低いと報告している。また、Blad et. al.<sup>1)</sup> や Pennington et. al.<sup>9)</sup> は日中の表面温度が気温より高いことも低いこともあることを報告している。しかし、一般に日射がある場合は表面温度が気温より高い観測例が多い。

Tanner<sup>9)</sup>、奥山<sup>9)</sup>、Blad et. al.<sup>1)</sup> や Pennington et. al.<sup>9)</sup> の研究は、作物の被覆率や生育時期と表面温度の関係を明かにしていない。そのためこれらについて解析した。

### C. 作物別の最高・最低表面温度の比較

晴天日について、最高・最低表面温度の平均を調べた。晴天日（最高温度の出現時間が11~14時の時）はダイズ畑19日分、キャベツ畑15日分、トウモロコシ畑18日分のデータ（計52日分）が得られた。これらの日のうち、3種類の作物ともデータがある14日分の平均値を計算した結果、最高表面温

度の平均はダイズ畑36.5°C、キャベツ畑34.9°C、トウモロコシ畑39.6°Cで、トウモロコシ畑が最も高く、次いでダイズ畑、キャベツ畑の順である。

しかし、Fig. 1 に示したようにトウモロコシ畑は他の作物畑より常に被覆率が低く、上から赤外放射温度計で表面温度を測定した場合、地面の温度を測定する比率が高い。したがって、被覆率が最大に近い8月29日(242日)の最高表面温度を比較すると、ダイズ畑(被覆率約83%)で30.9°C、キャベツ畑(被覆率約90%)で29.4°C、トウモロコシ畑(被覆率約70%)で29.0°Cで、被覆率の最も小さいトウモロコシ畑が最高表面温度が最も低い。そのため生育時期別に晴天日の最高表面温度の平均を調べた。

その結果を Fig. 4 に示した。Fig. 4 によると7月07日~7月26日(晴天日は7月07日、7月17日、7月25日、7月26日)には、トウモロコシ畑は他の畑より高い最高表面温度を示している。また、7月29日~8月07日の晴天日の4日間(7月29日、8月01日、8月04日、8月07日)について最高表面温度の平均を計算すると、ダイズ畑31.7°C、キャベツ畑30.1°C、トウモロコシ畑31.6°Cで、トウモロコシ畑とダイズ畑はほぼ同じ最高表面温度であった。しかし、8月中旬以降の晴天日の4日間(8月14日、8月15日、8月28日、8月29日)の最高表面温度の平均は、ダイズ畑32.5°C、キャベツ畑31.9°C、トウモロコシ畑30.4°Cで、トウモロコシ畑が最も低い。

すなわち、トウモロコシ畑は生育初期には高い最高表面温度を示すが、生育後期にはダイズ畑やキャベツ畑より低い最高表面温度を示している。これはトウモロコシが生長して草丈が高くなると、上から

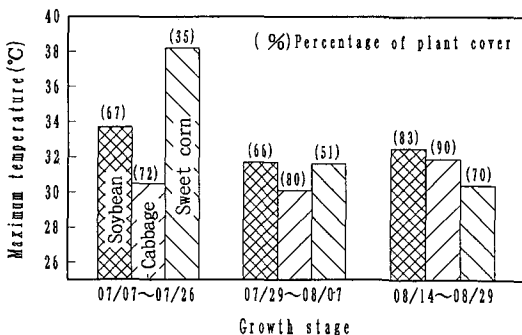


Fig. 4. Comparisons of maximum temperature among the three crops for each growth stage.

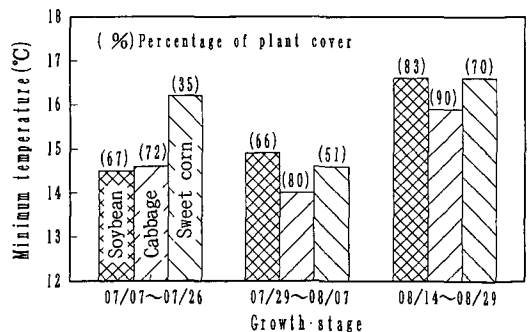


Fig. 5. Comparisons of minimum temperature among the three crops for each growth stage.

表面温度を測定した場合、群落内部の日陰部分の低い作物温度も測定されるためと思われる。また、ダイズ畑は途中間引き(7月03日, 7月24日)しているが、ダイズ畑とキャベツ畑の最高表面温度を比較すると、キャベツ畑の方がダイズ畑より常に低い。これはキャベツ畑の被覆率がダイズ畑の被覆率より一時期を除いて高いことも一因と思われる。

最低表面温度についても晴天日の平均を調べた。その結果、晴天日の最低表面温度の平均はダイズ畑 11.7°C, キャベツ畑 12.4°C, トウモロコシ畑 12.5°C で、トウモロコシ畑とキャベツ畑が高く、ダイズ畑が低い。最高表面温度と同じように時期別に最低表面温度を調べると、Fig. 5 に示すようにトウモロコシ畑はキャベツ畑より全期間を通じて常に高い。また、7月07日~7月26日はトウモロコシ畑はダイズ畑やキャベツ畑より最低表面温度は高いが、8月14日~8月29日にはトウモロコシ畑とダイズ畑は同じような最低表面温度を示している。すなわち、群落の状態による最高表面温度の特徴と最低表面温度の特徴は異なると言える。

以上のように、群落の状態によって時期別に最高・最低表面温度が異なる。トウモロコシは草丈が高くなるため、畝間や株間を広くしなければならない。そのため生育初期のトウモロコシ畑は草丈の低い作物より被覆率は小さい。しかし、生育後期のトウモロコシ畑はキャベツやダイズと比較して群落の上部に植生が多くないため、上から赤外放射温度計で測定すると、群落内部の日陰部分の作物温度も測定することになる。したがって、最高表面温度については生育初期に他の群落より高いが、生育後期には他の群落より低くなる。

また、最低表面温度については、トウモロコシ畑は生育初期には被覆率が小さいため、地面温度を多く測定することになる。夜間には地中から熱が上昇するため、地面温度は作物葉温より高い。そのため、被覆率が小さいトウモロコシ畑は、他の作物畑より高い最低表面温度を示す。しかし、生育後期には葉が繁茂するため作物葉を多く測定することになり、地面の熱容量より作物葉の熱容量に主に関係する。したがって、作物葉の熱容量は作物間の差が小さいと推定出来るため、トウモロコシ畑の最低表面温度は他の畑と同じような表面温度を示すと考えられる。

群落構造と表面温度の研究は今まで多くなく、

Heilman, et. al.<sup>2)</sup> がオオムギについて、被覆率と表面温度の関係式を導き出しているのみである。しかし、この研究も異なった作物間の比較はしていない。

#### D. 最高・最低表面温度と最高・最低気温の差

最高・最低温度について表面温度と気温の差を調べた。Fig. 6 に表面温度と気温の最高値の差について生育期間中の変化を示した。生育初期には大きな温度差を示すが、7月28日(210日)頃から以降は

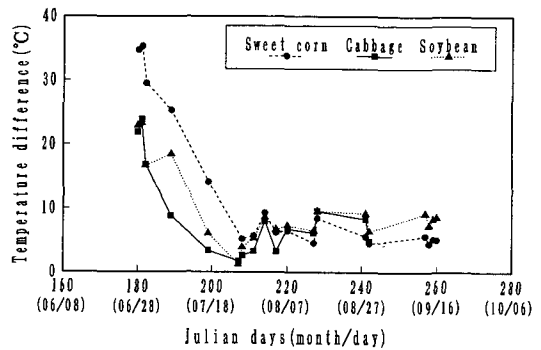


Fig. 6. Difference between maximum surface temperature and maximum air temperature for crop fields.

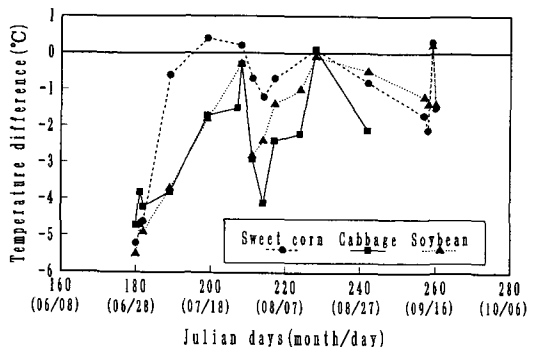


Fig. 7. Difference between minimum surface temperature and minimum air temperature for crop fields.

ほぼ 10°C 以下の範囲で変動している。生育初期には表面温度は主に地面を測定しているため、このような大きな温度差を示したと思われる。

葉温の場合でも葉気温差が時には 20°C になることもあると武智<sup>7)</sup> は報告している。7月28日(210日)以降の最高表面温度と最高気温の差の平均値は、トウモロコシ畑 6.0°C, キャベツ畑 6.3°C, ダイズ畑 7.8°C であった。これら値は Tanner<sup>9)</sup> の発表し

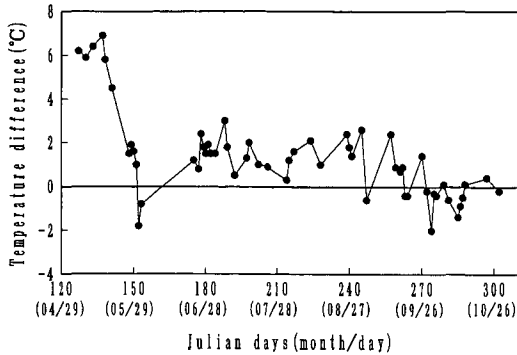


Fig. 8. Difference between maximum surface temperature and maximum air temperature for deciduous forest.

たアルファルファの日中の表面温度と気温の差の5~10°Cの範囲であり、また武智<sup>7)</sup>が報告している草本作物の葉気温差である5°C以上とも一致する。

最低温度についても気温と表面温度の差を調べた (Fig. 7)。最低温度の場合は最高温度より温度差が小さい。しかし、最高温度の場合と同様に生育初期には温度差が大きい傾向は同じである。7月28日(210日)以降の最低表面温度と最低気温の差の平均は、トウモロコシ畑-0.9°C、キャベツ畑-2.3°C、ダイズ畑-1.2°Cであった。Tanner<sup>9)</sup>はアルファルファの夜間の温度差は-5~-10°Cであると報告しているが、今回はこのような大きな温度差は観測されなかった。

晴天日の森林についても最高・最低温度の表面温度と気温の差を調べた。最高温度についての結果を Fig. 8 に示した。5月19日(140日)以前には表面温度と気温の差は大きいですが、6月28日(180日)以降から9月16日(250日)までは+1.3°Cを中心に変動している。また9月26日(270日)以降は温度差が逆転して、気温の最高値の方が高くなる場合が多い。この気温の最高値の方が表面温度の最高値より高くなる時期は、Fig. 1 に示した落葉によって被覆率が低下してきた時期に対応している。この時期の気温はまだ樹冠付近の表面温度に大きく影響を受けるが、測定表面温度は樹冠の下の日陰部分の温度を含んでいるためと思われる。

最低温度についても表面温度と気温の差を調べた (Fig. 9)。温度差の傾向は山型を示し、被覆率が小さい春と秋に温度差が大きくなる傾向を示した。これは被覆率が小さいときには放熱型の気温分布(高さが高いほど気温が高い)を示し、放熱面は主

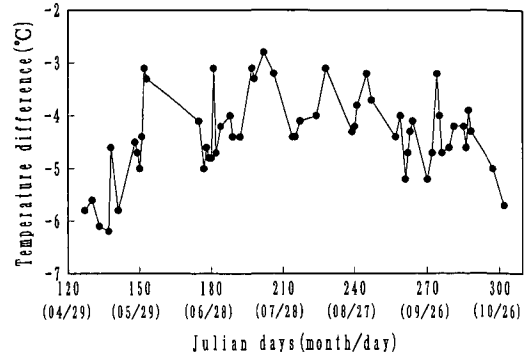


Fig. 9. Difference between minimum surface temperature and minimum air temperature for deciduous forest.

に地面で温度が最も低く、気温の測定高さ(地上11.5m)と大きく異なるためである。このような森林の表面温度と気温の差についての季節的変化の研究は今まで見あたらない。

#### E. 表面温度の最高・最低値の出現時間

最高・最低表面温度の出現時間は衛星データを利用する場合に重要である。そのため晴天日の最高・最低表面温度の出現時間を調べた。

Fig. 2 に示した1日快晴であった7月07日のダイズ畑、キャベツ畑、トウモロコシ畑の最高表面温度の出現時間は共に13時10分であった。この日の南中時は11時39分で、日射が最大であった時間は11時55分であり、日射の最大時間より最高表面温度は1時間15分遅れて現れている。気温の最高温度は14時10分に現れており、最高表面温度の出現時間より約1時間遅い。なお、7月07日の11時から14時までの平均風速(6.5mの風速)は2.3m/sで、風速は強い方ではなかった。

また、最低表面温度の出現時間はダイズ畑とキャベツ畑03時25分、トウモロコシ畑03時40分で、最低気温は04時10分に出現している。最低表面温度の出現時間は日の出時間(04時03分)より23分~38分早い。

Fig. 2 に示したように表面温度と気温の最高・最低温度の出現時間に大きな差がみられたため、晴天日について最高表面温度と最高気温の出現時間を調べた。晴天日はC. で用いたダイズ畑19日分、キャベツ畑15日分、トウモロコシ畑18日分および森林54日分のデータである。この晴天日のうち、最高表面温度が最高気温より早く現れた日数は、ダイズ

畑で12日(63%), キャベツ畑で8日(53%), トウモロコシ畑で9日(50%), 森林で30日(56%)であった。また、同時間の場合も、ダイズ畑で5日(26%), キャベツ畑で6日(40%), トウモロコシ畑で6日(33%), 森林で15日(28%)あった。しかし、最高表面温度が最高気温より遅れた日もあったが、作物畑において1~3日(7~17%), 森林で9日(17%)であった。すなわち、一般的に最高表面温度は7月07日と同様に最高気温より早く現れる傾向にあった。

また、最低温度についても調べた。最低表面温度が最低気温より早く現れた日数はダイズ畑で9日(47%), キャベツ畑で6日(40%), トウモロコシ畑で9日(50%), 森林で21日(41%)であった。同時間の場合、ダイズ畑で4日(21%), キャベツ畑で5日(33%), トウモロコシ畑で1日(6%), 森林で22日(43%)で、最低表面温度が最低気温より遅いのは、作物畑において2~5日(27~44%)で、森林で8日(16%)であった。すなわち、最低表面温度は最低気温と同時間、または早く現れる傾向にあった。

晴天日について表面温度と気温の最高・最低値の出現時間の差を計算した。その平均値をTable 1に示す。キャベツ畑を除いて最高表面温度より最低表面温度の方が気温の極値に近い時間に出現する。これらの出現時間の差は被覆率が大きくなると小さくなる傾向が見られたが、データ数が少なく確定できなかった。

なお、作物畑における観測期間中の晴天日の最高表面温度の出現時間は3作物平均で11時48分、最高気温の出現時間は12時18分であった。また、最低表面温度の出現時間の全平均は03時00~30分で、最低気温の出現時間は03時36分であった。森林の場合、最高表面温度の出現時間の平均は12時01分、最高気温の出現時間は12時37分であ

**Table 1.** Difference of the time of occurrence between the maximum & minimum surface temperature and the maximum & minimum air temperature.

	Sweet corn (minutes)	Cabbage (minutes)	Soybean (minutes)	Deciduous forest (minutes)
Max.	20	28	34	36
Min.	7	35	19	14

※: Time for air temp. — Time for surf. temp.

た。最低表面温度については出現時間の平均は03時23分で、最低気温は03時37分であった。

以上のことから次のように要約できる。

1) 表面温度の最高値の出現時間は気温の最高値の出現時間より約20~36分早い。2) 作物間ではトウモロコシ畑が最も気温の出現時間に近い(20分早い)。3) 表面温度の最低値の出現時間も気温の最低値の出現時間より早い。4) その程度は表面状態によるバラツキが大きい、最高温度の出現時間の差より小さい。5) 作物間では最高表面温度と同様に、トウモロコシ畑が最も気温の出現時間に近い(7分早い)。

衛星ノアの日本付近の通過時間はノア11号では、日中12~13時で夜間は01時30分~02時30分である。表面温度の最高温度の出現時間が畑地、森林で平均11時48分と12時01分であることは、ちょうどノアの通過時間と一致する。したがって、ノアデータによって最高表面温度が計算できる。また、最低表面温度の出現時間である03時00~30分は、ノアの夜間の通過時間である01時30分~02時30分より約1~2時間遅い。したがって、ノア通過時間と最低表面温度の関係を調べておく必要がある。

#### F. ノア通過時(02時)の表面温度と最低表面温度の関係

最低気温の出現時間は日の出時間に影響され、晴天の場合は日の出直前に起きることが知られている。したがって、最低表面温度の出現時間も晴天の場合、日の出直前に起きる。観測を行った期間の5月01日から10月30日までの日の出時間は、最早時間は約04時(6月10日~20日)で最遅時間は約06時(10月20日~30日)である。したがって、一般に最低表面温度は日本付近の平均的なノア通過時間である02時以降に起きる。

晴天日で02時以降に起きた最低表面温度(晴天日のデータのうち畑地30日、森林30日分のデータ)と02時の表面温度の関係を調べた。畑地の全作物について02時からの平均的な表面温度の低下率を求めた結果、0.6°C/hrであった。同じように森林の低下率は0.7°C/hrであった。これらの数値を利用することによって、ノア通過時(02時)の表面温度から最低表面温度を推定できる。この場合最低表面温度の出現時間は、日の出時間に約10~30分マイナスした時間で大きな差はない。

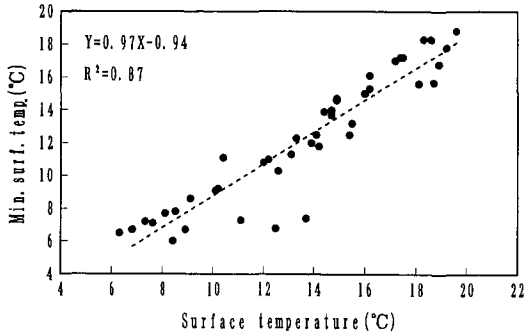


Fig. 10. Relationship between surface temperature at 02:00 a.m. and minimum temperature for crop fields.

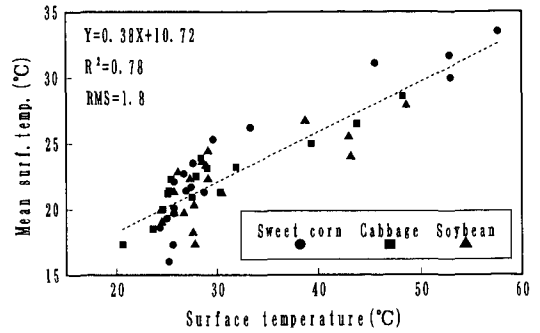


Fig. 12. Relationship between surface temperature at 09:30 a.m. and mean surface temperature for crop fields.

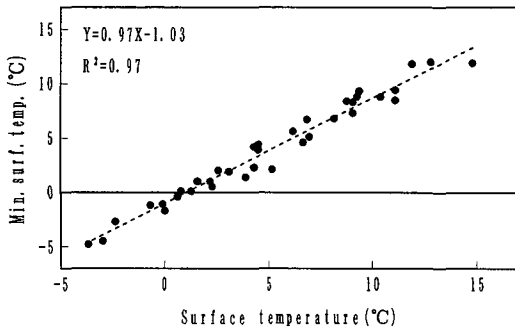


Fig. 11. Relationship between surface temperature at 02:00 a.m. and minimum temperature for deciduous forest.

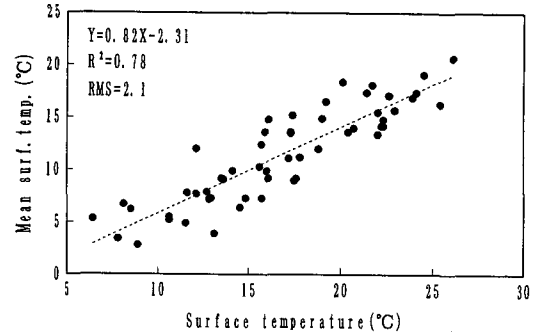


Fig. 13. Relationship between surface temperature at 09:30 a.m. and mean surface temperature for deciduous forest.

また、日の出時間が不明の時は、Fig. 10, 11 に示した02時の表面温度と最低表面温度の関係を使用しても、最低表面温度の推定は出来る。

このようにノアデータを使用することによって、表面温度の最高・最低値が推定でき、これを利用して平均表面温度も推定できる。これらは衛星からの表面温度を利用して推定できる地球上の熱的現象、たとえば上向き放射、蒸発散、気温、熱収支などの日平均値や最高・最低値の推定に役立つ。

#### G. ランドサット通過時(09時30分)の表面温度と日平均表面温度および日最高表面温度の関係

ランドサットの北海道、東北、関東付近の通過時間は約09時30分であるため、09時30分の表面温度と日平均表面温度および最高表面温度の関係を調べた。畑地の晴天日(3種類の作物の合計日数52日分)と森林の晴天日(54日分)の09時30分の表面温度と平均表面温度の関係をFig. 12, 13に示す。

平均表面温度は09時30分の表面温度を使用することによって、畑地で $\pm 1.8^\circ\text{C}$ 、森林で $\pm 2.1^\circ\text{C}$ の推定誤差で推定できる。同じように最高温度は畑地 $\pm 2.1^\circ\text{C}$ 、森林 $\pm 1.6^\circ\text{C}$ の推定誤差で推定できる。

これらの推定値はやや精度は良くないが、衛星データは地上では測定できない場所のデータを含んでいる。したがって、これらの推定誤差でも利用できる項目に使用すべきである。

#### H. 総合考察

この研究によって、作物畑と森林の表面温度の最高値が気温の最高値より高いこと、また表面温度の最低値も気温の最低値より低いこと、さらに表面温度の出現時間が気温の最高・最低値の出現時間より早いことが確認された。これは熱収支の作用面が表面であることと作物畑と森林の表面の熱容量が比較的小さいことが関係していると思われる。すなわち、作物畑や森林の表面は日射によって直接に暖め

られるため、日射量の最大となる時刻近くに表面温度が最高値を示す。しかし、植生の状態によって若干の遅れが起きることは予想され、この遅れが植生状態と関係するため重要である。今回の測定ではトウモロコシ畑が最高・最低温度の出現時間が遅く、気温の出現時間に近かった。これはトウモロコシの植生状態によるものと思われる。すなわち、トウモロコシは直立性の草生を示しているため、日射が群落の内部まで入り熱の作用面が平面的でないためである。すなわち、表面温度からみた場合、群落としての熱容量が大きいと言える。その結果、夜間においても気温の最低値に近い時間に最低表面温度が出現する。

さらに、生育時期的にもトウモロコシ畑は他の作物畑と比較して特徴が見られた。すなわち、最高表面温度、最低表面温度とも生育初期には他の作物より高い傾向が見られた。これはトウモロコシ畑は株間や畦間を広くしなければならぬため、赤外放射温度計で測定した場合、地面部分を多く測定しているためである。また、生育後期には最高表面温度は他の作物より低く、最低表面温度は他の作物と同じような温度を示した。これはトウモロコシが直立性の草生を示すため、日中は群落内部の作物体を測定し、夜間の放熱は他の作物と変わらず、作物葉が放熱体であるためである。このような作物の群落構造と表面温度を測定した例は少なく、今後の研究の進展が望まれる。

### 参考文献

1. Blad, B. L. and N. J. Rosenberg, 1976: Measurement of crop temperature by leaf thermocouple, infrared thermometry and remotely sensed thermal imagery, *Agron. Journ.*, 68, 635-641.
2. Heilman, J. L., W. E. Heilman, and D. G. Moore, 1981: Remote sensing of canopy temperature at incomplete cover, *Agron. Journ.*, 73, 403-406.
3. Linacre, E. T., 1963: A note on a feature of leaf and air temperature, *Agr. Meteorol.* 1, 66-72.
4. 王 秀峰, 堀口 郁夫, 町村 尚, 1993: 放射温度計の特性と測定誤差, *農業気象*, 49-3, 印刷中。
5. 奥山富子, 1975: 赤外線放射温度計による梓試験水稲田の表面温度測定例, *農業気象*, 30, 191-194.
6. Pennington, D. A. and L. Heaterly, 1989: Effects of changing solar radiation on canopy-air temperatures of cotton and soybean, *Agr., Fores., Meteorol.* 46, 1-14.
7. 武智 修, 1968: 植物の葉温と熱収支, *農業気象*, 24, 43-50.
8. 武智 修, 1969: 葉温に関する研究, *農業気象*, 25, 41-43.
9. Tanner, C. B., 1963: Plant temperature, *Agron. Journ.*, 55, 210-211.

### Summary

Infrared radiation (IR) emitted from the earth's surface is measured routinely from satellites. In order to utilize the infrared radiation, the characteristics of the surface temperature for crop fields and forest were studied by using an IR thermometer.

The results show that the maximum surface temperature is higher than the maximum air temperature, and that the minimum surface temperature is lower than the minimum air temperature on fine clear days. Further, the maximum and minimum surface temperature were observed earlier than the maximum and minimum air temperatures.

In the early growth stage of corn, the maximum surface temperature of the field is higher than those of soybean and cabbage fields. In the later growth stage, however, it is the lowest among these crop fields. In addition, the times of the maximum and minimum surface temperatures and the times of the maximum and minimum air temperatures of corn field are closer than those of soybean and cabbage fields. This seems to be related to the vegetation pattern particular to the corn field.

The time of appearance of the maximum surface temperature coincided with the NOAA satellite overpassing. On the other hand, the time of the minimum surface temperature occurred 1 or 2 hours earlier than the NOAA overpassing. Therefore, the relationship between the surface temperature at 2 am, when the NOAA overpasses, and the minimum surface temperature were studied.

Moreover, the relationship between the surface temperature at 9:30 am, when Landsat overpasses, and the mean surface temperature of the day or the maximum surface temperature were analyzed.