# 夏秋期野菜栽培で利用するトンネル資材、遮光ネット、フィルムマルチ被覆下の気温、地温の推定方法と数種資材の利用効果判定


| | |
|---|---|
| 誌名 | 大分県農林水産研究センター研究報告. 農業編 = Bulletin of Oita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center, Agriculture Section |
| ISSN | 18819206 |
| 著者名 | 佐藤,如<br>安部,貞昭<br>佐藤,和幸<br>後藤,英世 |
| 発行元 | 大分県農林水産研究センター |
| 巻/号 | 2号 |
| 巻号補足 | |
| 掲載ページ | p. 49-60 |
| 発行年月 | 2008年3月 |



農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

AgriKnowledge

# 夏秋期野菜栽培で利用するトンネル資材，遮光ネット，フィルムマルチ被覆下の気温，地温の推定方法と数種資材の利用効果判定

佐藤　如*・安部貞昭*・佐藤和幸**・後藤英世***

## Temperature Estimation Method in Plastic Tunnels, Nets for Shading and Soil Temperature Under Film Mulch by Some Environmental Elements and Effect of These Materials in Summer and Autumn Cultivation.

Hitoshi SATO, Sadaaki ABE, Kazuyuki SATO and Hideyo GOTO

大分県農林水産研究センター野菜・茶業研究所

Vegetable and Tea Research Institute, Oita Prefectural Agriculture, Forestry and Fisheries Research Center

キーワード：トンネルフィルム，遮光ネット，フィルムマルチ，温度推定，効果判定

目　次

Ⅰ　緒　　言……49
Ⅱ　トンネルフィルム，遮光ネット，フィルムマルチ被覆下の気温，地温の推定方法……50
　1　有孔フィルムトンネル内の気温推定方法……50
　2　遮光ネット被覆下の気温推定方法……50
　3　フィルムマルチ下の地温推定方法……51
　4　考　　察……51
Ⅲ　数種の有孔フィルム，遮光ネット，フィルムマルチ利用における効果判定……52
　1　有孔フィルムの開孔率，被覆場所がトンネル内気温に及ぼす影響……52
　2　遮光ネットの資材，遮光率の違いが気温上昇抑制効果に及ぼす影響……54
　3　フィルムマルチの色，被覆場所，厚さが地温に及ぼす影響……57
Ⅳ　総合考察および結論……59
Ⅴ　摘　　要……59
　引用文献……59
　Summary……60

## Ⅰ　緒　　言

夏秋期野菜において，種々の被覆資材を用いて栽培環境を制御し，生産を安定させたり作期を拡大する技術は一般的に行われている。その資材も，トンネルやべたがけ用の簡易保温資材，地温の制御を目的としたフィルムマルチ，気温上昇抑制を目的とした遮光ネット等があり，また，それぞれの資材でも各種性能を異にする数多くの商品が出回っている。

フィルムマルチの目的とする効果を得るための資材については川城[7]によってまとめられている。また，トンネル被覆の品目別のねらいについては神保[6]によって整理されている。

しかし、それら資材や利用方法が気温や地温に及ぼす影響の評価方法は様々である。さらに，比較する気象条件等によって評価が異なる場合が考えられる。

最近の地球温暖化の影響を回避するため，被覆資材の重要性が高まっている。いろいろな被覆資材が上市されているが，統一した観点からの評価がされていないのが現状である。

そこで，トンネル被覆栽培における穴あきフィルムの開孔率や被覆場所，遮光栽培における遮光ネットの種類，マルチ栽培におけるフィルムマルチの色，厚さ，被覆場所等が，それぞれの処理下の気温や地温に及ぼす効果を確認する方法について検討した。そのために，比較的長期間にわたって，定時的にそれぞれの処理下の気温や地温と，この気温や地温に影響を及ぼすと思われる要因（外気温，日射量等）を実測した。処理下の気温や地温と高い相関を示す要因から，精度の高い回帰式を作成した。この回帰式をもとに，利用場面を想定した一定環境条件下でのそれぞれの処理下の気温や地温を推測，比較検討して，それぞれの被覆資材を評価した。

＊現所属：大分県農林水産研究センター野菜・茶業研究所宇佐試験地
＊＊現所属：大分県農林水産研究センター安全農業研究所
＊＊＊現所属：大分県豊肥振興局

## Ⅱ　トンネルフィルム，遮光ネット，フィルムマルチ被覆下の気温，地温の推定方法

### １　有孔フィルムトンネル内の気温推定方法

トンネル被覆の効果を判断するために，気温や日射量等の気象要因からトンネル内気温を推定する方法を検討し，資材の種類や利用方法の評価のための基礎資料とした。

#### １）試験方法

1999年２月15日から４月２日まで，ハウス内にフィルムの開孔率が３％の資材（商品名：ユーラックカンキ４号）をトンネル被覆し，トンネル内気温を測定した。ハウスのサイドビニルは閉じたまま管理した。トンネル内気温は畦中央の高さ20cmの位置を打点式記録計で測定した。また，外気温，日射量は所内の気象観測装置の測定値を用いた。

気温の測定は毎正時に行い，18時から翌朝７時までを夜間，８時と９時を朝，10時から17時を昼として分析した。

#### ２）結　果

昼間のトンネル内気温と外気温との関係を検討した。その結果，トンネル内気温については，外気温を説明変数にした単回帰式ではr＝0.570と相関がやや低かったが，説明変数に時間日射量を加えるとR＝0.972と高くなった。昼間のトンネル内気温は，外気温と時間日射量を説明変数とした重回帰式から推定できた（第１表）。

また，朝のトンネル内気温も外気温（$\chi$）との単回帰式ではr＝0.554（y＝0.688$\chi$＋8.9）と相関がやや低かったが，外気温（$\chi_1$）と時間日射量（$\chi_2$）を用いた重回帰式ではR＝0.959（y＝0.653$\chi_1$＋13.31$\chi_2$＋6.04，n＝95）と相関が高くなり，推定精度が向上した。

また，夜間のトンネル内気温は外気温を説明変数にした単回帰式でr＝0.948と高い相関が得られ，外気温からトンネル内気温を推定できた（第２表）。

### ２　遮光ネット被覆下の気温推定方法

遮光ネットの気温上昇抑制効果を評価するため，外気温や時間日射量等の環境要因を用いた遮光ネット被覆下の気温推定方法について検討し，資材評価のための基礎資料とした。

#### １）試験方法

1999年は８月５日から８月19日まで，2000年は７月３日から８月１日まで，雨よけビニル被覆（対照），

**第１表　昼間のトンネル内気温を求める説明変数と相関係数（1999）**

| 目的変数 | 説明変数 | | 相関係数 | 回帰式 |
|---|---|---|---|---|
| トンネル内気温 | 外気温 | | 0.570 | $y=0.92x_1+11.8$ |
| トンネル内気温 | 外気温 | 時間日射量 | 0.972 | $y=0.73x_1+8.7x_2+6.0$ |

開孔率３％のフィルムをハウス内被覆した時の昼間の気温
n＝387，外気温（$x_1$）の範囲－2.4℃～20.7℃，時間日射量（$x_2$）の範囲０～2.6MJ／m².h

**第２表　夜間のトンネル内気温を求める回帰式と相関係数（1999）**

| 目的変数 | 説明変数 | 相関係数 | 回帰式 |
|---|---|---|---|
| トンネル内気温 | 外気温 | 0.948 | $y=0.84x+4.2$ |

開孔率３％のフィルムをハウス内被覆した時の夜の気温
n＝628，外気温（$x$）の範囲－5.5℃～19.8℃

**第３表　遮光ネット被覆下の気温を求める説明変数と相関係数（1999，2000）**

| 目的変数 | 年次 | 説明変数 | | 相関係数 | 回帰式 |
|---|---|---|---|---|---|
| ミラー | 1999 | 外気温 | | 0.962 | $y=1.31x_1-5.8$ |
| ミラー | 1999 | 外気温 | 時間日射量 | 0.971 | $y=1.10x_1+0.91x_2-1.4$ |
| ミラー | 2000 | 外気温 | | 0.874 | $y=1.12x_1-0.7$ |
| ミラー | 2000 | 外気温 | 時間日射量 | 0.921 | $y=0.87x_1+1.22x_2+4.2$ |
| 白 | 1999 | 外気温 | | 0.946 | $y=1.24x_1-4.7$ |
| 白 | 1999 | 外気温 | 時間日射量 | 0.948 | $y=1.06x_1+0.62x_2-0.8$ |
| 白 | 2000 | 外気温 | | 0.875 | $y=1.10x_1-0.2$ |
| 白 | 2000 | 外気温 | 時間日射量 | 0.929 | $y=0.83x_1+1.29x_2+5.0$ |
| 無処理 | 1999 | 外気温 | | 0.936 | $y=1.56x_1-11.4$ |
| 無処理 | 1999 | 外気温 | 時間日射量 | 0.949 | $y=1.15x_1+1.56x_2-2.2$ |
| 無処理 | 2000 | 外気温 | | 0.619 | $y=0.98x_1+5.9$ |
| 無処理 | 2000 | 外気温 | 時間日射量 | 0.847 | $y=0.76x_1+1.82x_2+8.5$ |

n＝70～157
外気温（$x_1$）の範囲22.6℃～32.5℃，時間日射量（$x_2$）の範囲0.2～2.8MJ／m².h

白（商品名：ダイオクールホワイト520WH），ミラータイプ（商品名：ダイオミラー410ME）の遮光ネット（いずれも遮光率40％と表示されたもの，幅６m，長さ22m）を間口６m，長さ20mのハウス天井の中央にビニルに重ねて被覆し，ハウス内気温を測定した。ハウスはサイドビニルと入り口を開放（ハウス開放率（換気面積／ハウス総表面積）は17％）して管理した。

ハウス内気温は，ハウス中央の高さ120cmの位置を打点式記録計で測定した。気温の測定は毎正時に行った。遮光による気温上昇抑制効果が大きいと考えられる10時から15時までの測定値を分析した。照度はハウス内10カ所，ハウス外５カ所について日を換えて５回測定し，平均値として遮光率を算出した。また，外気温，日射量は所内の気象観測装置の測定値を用いた。

### 2）結　果

各資材被覆下の気温と外気温，時間日射量との相関を検討した。各資材被覆下の気温と外気温との相関係数は，ミラーネットで1999年，2000年それぞれ0.962，0.874であったが，説明変数に時間日射量を加えた相関は0.971，0.946とやや高くなり，推定精度は向上した。無処理，白ネットも同様に，外気温との単回帰式より外気温と時間日射量との重回帰式にすることで推定精度は向上した。

外気温と時間日射量を説明変数にした重回帰式は，年次間でやや異なった。外気温の係数は同一年次間で資材間に大きな差はなかった。しかし，1999年の時間日射量の係数は，白ネットで小さく，無処理で大きかったが，2000年は資材間差が小さかった（第３表）。

## 3　フィルムマルチ下の地温推定方法

フィルムマルチ被覆下の地温の推定方法を検討し，資材や利用方法を評価するための基礎資料とした。

### 1）試験方法

ハウス内の畦（畦幅150cm，床幅75cm，高さ15cm）に透明マルチ（厚さ0.02mm）を展張し，畦中央の地表面から10cm下の地温を測定した。調査期間は1999年４月２日から４月20日と，６月21日から８月19日の77日間であった。地温は打点式温度記録計で測定した。また，外気温，日射量は所内の気象観測装置の測定値を用いた。

### 2）結果

フィルムマルチ被覆下の最低地温と最高地温を推定するため，最低地温と気象要因との関係を検討した。最低気温を説明変数にした単回帰式では$r=0.881$であったが，説明変数に前日の最高気温を加えた重回帰式にすると$R=0.948$と相関が高くなり，推定精度が向上した。

また，最高地温は，最高気温を説明変数とした単回帰式では$r=0.803$であったが，説明変数に日日射量を加えた重回帰式では，$R=0.939$と相関が高くなり，推定精度が向上した（第４表）。

## 4　考　察

夏秋期の野菜栽培においては，種々の資材が使われ，作期の拡大や生産安定に寄与している。しかし，資材の効果については評価法が様々で，販売メーカーが自社製品と一日の気温等の推移を比較した資料等に基づいて選定しているのが現状である。また，この方法で，一度に多くの資材を比較するためには多くの労力と施設を要する。ここでは，有孔フィルムトンネル内の夜間と昼間の気温，遮光ネット被覆下の気温，フィルムマルチ下の地温の推定方法について検討した。

### 1）トンネル内気温の推定法について

有孔フィルムのトンネル被覆内の夜間の気温は外気温との相関が高く，外気温とトンネル内気温の回帰式を求め，外気温からトンネル内気温を比較することができると考えた。また，昼間の気温は外気温単独では，相関が低く，推定精度が劣った。しかし，時間日射量を説明変数に加えた重回帰式にすることで相関が高くなり，推定精度が向上した。

したがって，昼間のトンネル内気温は，外気温と時間日射量を説明変数とした重回帰式を求め，外気温や時間日射量を揃えてトンネル内気温を比較できると考

**第４表　地温の推定における説明変数と相関係数（1999）**

| 目的変数 | 説明変数 | | 相関係数 | 回帰式 |
|---|---|---|---|---|
| 最低地温 | 最低気温 | | 0.881 | $y=0.60x_1+20.6$ |
| 最低地温 | 最低気温 | 前日の最高気温 | 0.948 | $y=0.24x_1+0.60x_2+11.74$ |
| 最高地温 | 最高気温 | | 0.803 | $y=1.05x_3+13.3$ |
| 最高地温 | 最高気温 | 日日射量 | 0.939 | $y=0.86x_3+0.70x_4+10.1$ |

n＝61（最低地温），74（最高地温）
最低気温（$x_1$）の範囲－1.2℃～24.9℃，前日の最高気温（$x_2$）の範囲12.6℃～37.5℃
最高気温（$x_3$）の範囲12.6℃～37.5℃，日日射量（$x_4$）の範囲1.4～21.43MJ／$m^2$．h
ハウス内に展張した透明マルチ

えた。

### ２）遮光ネット被覆下のハウス内気温推定法について

遮光ネット被覆下の気温は，処理や試験年次によってやや差が認められた。外気温単独でも相関が高い場合が多かった。しかし，いずれの資材でも，説明変数に時間日射量を加えることで，相関はやや高くなった。また，重回帰式の年次間差については明確にできなかったが，時間日射量の係数に資材の効果が推察できる差が認められたことは，その資材の被覆による気温変化が日射量の影響を受ける程度を評価できることも考えられた。すなわち，1999年については，時間日射量の係数が，白0.62，ミラー0.82，無処理1.56で，白ネット被覆下の気温が日射量の影響を受けにくいと考えられた。近年，ある一定の波長を選択して制御できる遮光ネットが開発されている。これらの遮光ネットについて日射の影響を評価する方法を検討する必要がある。

遮光ネット被覆下の気温は，外気温と時間日射量を説明変数にした重回帰式で推定することができ，この式を用いて外気温や時間日射量によって示される天気を揃えて資材の比較ができると考えた。

### ３）フィルムマルチ下の地温の推定法について

フィルムマルチ下の最高地温は，最高気温単独では相関が低かった。しかし，説明変数に，日日射量を加えることで，相関が高くなり，推定精度が向上した。また，最低地温は最低気温単独では相関が低かった。しかし，説明変数に前日の最高気温を加えることで相関が高くなり，推定精度が向上した。

このことから，最高地温は最高気温と日日射量，最低地温は最低気温と前日の最高気温を説明変数にした重回帰式を作成し，地温の推定を行うことで，マルチ資材が最高地温，最低地温に及ぼす影響を比較できると考えた。

### ４）総　　括

一般には，経時的な気温や地温の推移を示したものでトンネルフィルムや遮光ネット，フィルムマルチの効果を表示しているものが多く見かけられる。しかし，資材内気温や地温はその時の気温以外の影響も受けている。本研究では，昼間のトンネル内気温には外気温に加えて時間日射量も，また，最高地温には日最高気温に加えて日日射量も，最低地温には日最低気温に加えて前日の最高気温も影響していることが明らかになり，複数の環境要因を示して評価することが望ましいことが明らかになった。

## Ⅲ　数種の有孔フィルム，遮光ネット，フィルムマルチ利用における効果判定

### １　有孔フィルムの開孔率，被覆場所が気温上昇抑制効果，保温効果に及ぼす影響

トンネルフィルム内の気温推定による資材評価法を用いて，開孔率とトンネル被覆場所がトンネル内気温に及ぼす影響を検討した。

### １）試験方法

1999年２月15日から４月２日の間，換気されていない間口６m，長さ20mの単棟ハウス内に，長さ５m，高さ0.6mのトンネル被覆を開孔率０％（商品名：オービロン），1.5％（商品名：ユーラックカンキ２号），３％(商品名：ユーラックカンキ４号），６％(商品名：ユーラックカンキ８号）のポリオレフィン系フィルムを用いて行った。

また，2000年２月18日から３月１日までと，５月16日から６月16日の43日間，露地に長さ５m，高さ0.6mのトンネル被覆を前年と同じ有孔フィルムを用いて行った。

トンネル内気温は，いずれも地表面から20cm高さを打点式記録計で測定した。トンネルの端は直管パイプで止め，風等による外気の導入を防止した。また，外気温と日射量は所内で測定している気象観測装置での測定値を用いた。

気温の測定は毎正時に行い，18時から翌朝７時までを夜間，８時と９時を朝，10時から17時を昼として分析した。

### ２）結　　果

保温効果の検討では外気温を，朝の気温上昇効果と昼の気温上昇抑制効果の検討では外気温と時間日射量を説明変数とした重回帰式を求めた。

#### (1)　夜の気温

外気温が５℃の時の，各処理内気温を推定し，保温効果を検討した。

ハウス内では開孔率０％のトンネル内気温が10.7℃と最も高く，約６℃の保温効果が認められた。しかし，1.5％から６％の資材ではトンネル内気温が8.2℃から8.7℃と，３℃から４℃の保温効果で，資材間に大きな差はなかった。

露地被覆でも開孔率０％のトンネル内気温が6.3℃と最も高く，約１℃の保温効果が認められたが，開孔率1.5％から６％の資材では，トンネル内気温が５℃から5.4℃と資材間に大きな差はなく，外気温とほぼ同程度で保温効果は認められなかった（第５，６，７表，第１図)。

第５表　夜の露地トンネル内気温を求める回帰式

| 開孔率 | 回帰式 | r | n |
|---|---|---|---|
| 0% | $y=1.20x+0.4$ | 0.977 | 603 |
| 1.5% | $y=1.12x-0.2$ | 0.988 | 603 |
| 3% | $y=1.14x-0.6$ | 0.986 | 519 |
| 6% | $y=1.07x-0.3$ | 0.993 | 603 |

$y$：トンネル内気温，$x$：外気温
$x$ の範囲：−5.7〜27.8℃
2000年２月18日〜３月１日と５月16日から６月16日

第６表　夜のハウス内トンネル内気温の推定式

| 開孔率 | 回帰式 | r | n |
|---|---|---|---|
| 0% | $y=0.73x+7.0$ | 0.851 | 628 |
| 1.5% | $y=0.82x+4.6$ | 0.928 | 432 |
| 3% | $y=0.84x+4.2$ | 0.948 | 628 |
| 6% | $y=0.84x+4.0$ | 0.937 | 628 |

$y$：トンネル内気温（℃），$x$：外気温（℃）
$x$ の範囲：−5.5℃〜19.8℃
1999年２月15日から４月２日まで

第７表　推定式より算出した夜のトンネル内気温

| 場所 | 開孔率 | 外気温（℃）が −3 | 0 | 5 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|
| ハウス | 0% | 4.8 | 7.0 | 10.7 | 14.3 |
| ハウス | 1.5% | 2.1 | 4.6 | 8.7 | 12.8 |
| ハウス | 3% | 1.7 | 4.2 | 8.4 | 12.6 |
| ハウス | 6% | 1.5 | 4.0 | 8.2 | 12.4 |
| 露地 | 0% | −3.2 | 0.4 | 6.3 | 12.3 |
| 露地 | 1.5% | −3.6 | −0.2 | 5.4 | 11.0 |
| 露地 | 3% | −4.0 | −0.6 | 5.1 | 10.8 |
| 露地 | 6% | −3.5 | −0.3 | 5.0 | 10.4 |

第５，６表から作成

第８表　昼のハウス内トンネル内気温の推定式

| 開孔率 | 回帰式 | R | n |
|---|---|---|---|
| 0% | $y=0.69x_1+11.0x_2+7.4$ | 0.966 | 387 |
| 1.5% | $y=0.74x_1+9.0x_2+5.6$ | 0.975 | 278 |
| 3% | $y=0.73x_1+8.7x_2+6.0$ | 0.972 | 387 |
| 6% | $y=0.73x_1+9.2x_2+5.8$ | 0.972 | 387 |

$y$：トンネル内気温（℃）
$x_1$：外気温（℃），$x_2$：時間日射量（MJ／㎡，h）
説明変数の範囲：$-2.4℃ \leqq x_1 \leqq 20.7℃$，$0MJ \leqq x_2 \leqq 2.6MJ$
注）1999年２月15日〜４月２日の８時から17時のハウスが密閉されている時

第９表　昼の露地トンネル内気温の推定式

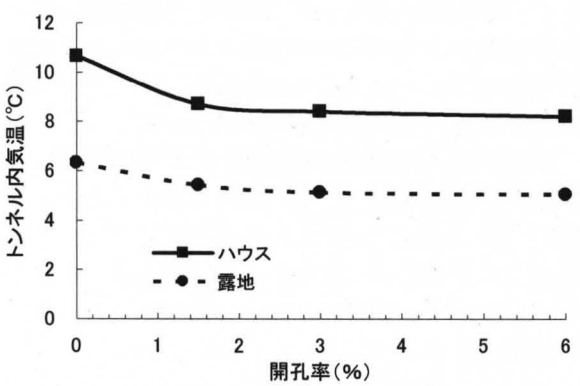
| 開孔率 | 回帰式 | r | n |
|---|---|---|---|
| 0% | $y=1.17x_1+6.0x_2+0.9$ | 0.983 | 340 |
| 1.5% | $y=1.09x_1+4.4x_2+0.7$ | 0.985 | 340 |
| 3% | $y=1.11x_1+4.6x_2-0.2$ | 0.985 | 292 |
| 6% | $y=1.09x_1+3.4x_2-0.8$ | 0.989 | 340 |

$y$：トンネル内気温（℃）
$x_1$：外気温（℃），$x_2$：時間日射量（MJ／㎡，h）
説明変数の範囲：$0.5℃ \leqq x_1 \leqq 31.8℃$，$0MJ \leqq x_2 \leqq 3.8MJ$
注）2000年２月18日〜３月１日と５月16日〜６月16日

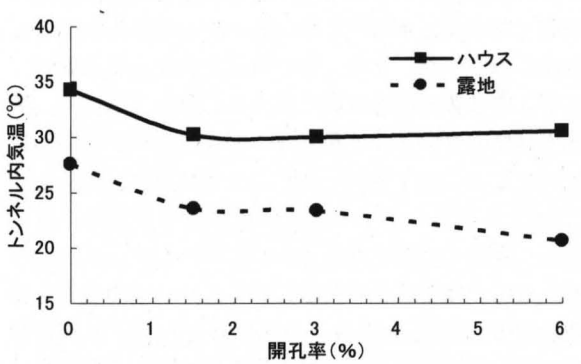
第10表　昼のトンネル被覆場所と開孔率別気温の推定値

| 被覆場所 | 開孔率 % | 気温＼日射量＼ | 5℃ 0.5 | 5℃ 1.5 | 10℃ 0.5 | 10℃ 1.5 | 15℃ 0.5 | 15℃ 1.5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 露地 | 0% | | 9.8 | 15.8 | 15.7 | 21.7 | 21.5 | 27.6 |
| | 1.5% | | 8.3 | 12.6 | 13.7 | 18.1 | 19.2 | 23.5 |
| | 3% | | 7.7 | 12.2 | 13.3 | 17.8 | 18.8 | 23.4 |
| | 6% | | 6.3 | 9.7 | 11.8 | 15.2 | 17.3 | 20.6 |
| ハウス | 0% | | 16.4 | 27.4 | 19.8 | 30.8 | 23.3 | 34.3 |
| | 1.5% | | 13.8 | 22.8 | 17.5 | 26.5 | 21.2 | 30.2 |
| | 3% | | 14.0 | 22.7 | 17.7 | 26.4 | 21.3 | 30.0 |
| | 6% | | 14.1 | 23.3 | 17.7 | 26.9 | 21.4 | 30.6 |

時間日射量（MJ／m2，h）の目安0.5MJ：曇り，1.5MJ：晴れ
第８表と第９表より作成




第１図　開孔率が夜の気温に及ぼす影響
(外気温が５℃の時，第７表から作成)




第２図　開孔率が昼の気温に及ぼす影響
(外気温が15℃，時間日射量が1.5MJ の時)
(第10表から作成)

(2)　朝の気温

外気温が７℃，時間日射量が0.3MJ/㎡の時の各処理内気温を推定し気温上昇効果を検討した。

ハウス内では，開孔率０％のフィルム内気温が14.5℃と外気温との差が7.5℃と最も高かった。また，夜間の保温効果と同様，1.5%から６％の開孔率では12.6℃から13℃と外気温との差は5.5℃から６℃で区間に大きな差はなかった。

露地では，開孔率０％のフィルムが10.3℃と最も高く，約３℃の気温上昇効果が認められた。1.5%と３％の開孔率によるトンネル内気温の差は9.2℃から9.4℃と小さく，約２℃の気温上昇効果であった。

６％では8.2℃と気温上昇効果は１℃程度でやや気温上昇が遅れた。

### (3) 昼の気温

外気温が15℃，時間日射量が1.5MJ/m²の時の各処理内気温を推定し気温上昇抑制効果を検討した。

ハウス内では，開孔率０％のフィルムが34℃と最も高く，外気温との差が19℃と気温上昇抑制効果は低かった。1.5%から６％の開孔率では30℃から30.6℃と差は小さかった。外気温との差は15℃程度で有孔フィルムによる気温上昇抑制効果が認められた。

露地では開孔率０％が27.6℃とトンネル内気温が最も高く，外気温との差は約13℃であった。1.5%と３％のフィルム内気温は23℃程度で開孔率による差は小さかった。また，外気温との差は８℃で開孔率０％のフィルムに比べ気温上昇抑制効果が高かった。６％の資材では，フィルム内気温が21℃で，外気温との差が６℃で気温上昇抑制効果がやや高いことが明らかになった（第８，９，10表，第２図）。

### 3）考　察

ハウス内と露地に開孔率０％から６％のポリオレフィン系フィルムでトンネル被覆を行い，被覆場所と開孔率がトンネル内気温に及ぼす影響を検討した。その結果，トンネル被覆場所と開孔率により夜間や昼間のトンネル内気温に差が認められた。すなわち，夜は外気温が５℃の時，ハウス内被覆が露地被覆より約３℃から４℃高かった。また，開孔率０％のフィルムが開孔率1.5%以上のフィルムに比べ１～２℃高かった。外気温が低いほどその差は大きかった。被覆場所が同じ場合は，開孔率1.5%から６％の開孔率による差は小さかった。また，早い気温上昇が必要な朝は，ハウス内被覆が露地被覆に比べ３℃から５℃高く，開孔率０％のフィルムが開孔率1.5%以上のフィルムに比べ１℃から２℃高かった。ハウス内では開孔率1.5%から６％のフィルムの温度差は小さかった。しかし，露地では開孔率1.5%と３％の差は小さかったが，６％ではそれより約１℃低く，ハウス内被覆と露地被覆では開孔率1.5%，３％と６％のフィルムの効果に差が認められた。気温上昇を抑制する必要が多い昼間は，ハウス内被覆が露地被覆に比べ６℃から10℃高かった。開孔率０％のフィルムが開孔率1.5%から６％のフィルムに比べ４℃から７℃高かった。ハウス内では開孔率1.5%から６％のフィルムの気温差は小さかった。しかし，露地では開孔率1.5%と３％の差は小さかったが，６％では，それより約３℃低く，ハウス内被覆と露地被覆で気温上昇抑制効果に開孔率1.5%，３％と６％の差が認められた。

夜間の保温効果は，開孔率1.5%から６％の間では差がないことが明らかになった。また，朝と昼は被覆場所により開孔率がトンネル内気温に及ぼす影響に差が認められ，ハウス内では開孔率1.5%から６％のフィルム間に気温差は認められなかったのに対し，露地被覆では，開孔率1.5%と３％の間の差は小さく，６％ではやや気温の上昇が抑えられることが明らかになった。開孔率６％のフィルムが1.5%，３％のフィルムと被覆場所で昼間の気温差が生じた原因として，小倉[13]はハウスの換気回数は開口面積に比例して行われるとしているが，トンネル内の空気が外気と直接入れ替わる露地被覆では６％の開孔率で換気がある程度行われ気温が低下したが，1.5%や３％の開孔率では換気が十分にできなかったこと，ハウス内被覆では，いずれの開孔率でも十分な換気が行われず，気温差を生じなかったこと，夜間には日射による対流が行われず，十分な換気が行われなかったこと等，換気の程度が関与していると考えられた。

## ２　遮光ネットの資材，遮光率の違いが気温上昇抑制効果に及ぼす影響

資材や商品に表示されている遮光率の違いが気温上昇抑制効果に及ぼす影響を検討した。

### １）試験方法

《試験１》数種遮光ネットの気温上昇抑制効果の比較

Ａ社製の４種の遮光ネット（商品に表示されている遮光率40%）を用いて試験を行った。ビニルのみを展張したハウスを対照とした。間口６m，長さ20mのサイドが開放されたハウス（開放率（換気面積／総表面積）は17%）に幅６mの遮光ネットをビニルに重ねて展張した。ハウスは４棟を供試し，７～10日間隔で資材を張り替えて気温の調査を行った。

1999年は８月５日から８月19日まで，2000年は７月３日から８月１日まで，黒（商品名：ダイオネット510），銀（商品名：ダイオネット610SG），ミラー（商品名；ダイオミラー510ME），白（商品名：ダイオクールホワイト520WH（温度上昇抑制剤入り））のネットを用いた。

《試験２》遮光ネットの表示遮光率が気温上昇抑制効果に及ぼす影響

1999年はミラータイプの遮光ネットを用い，商品に表示された遮光率が30%（商品名：ダイオミラー410ME），40%（商品名：ダイオミラー510ME），45%（商品名：ダイオミラー610ME），60%（商品名：ダイオミラー810ME）の４種類を用いて遮光率が気温に及ぼす影響を検討した。

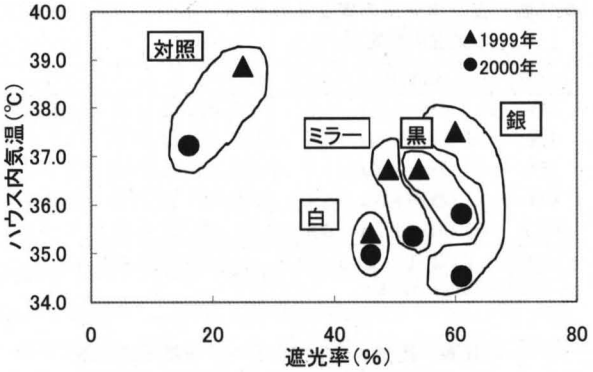
2000年は白ネット（温度上昇抑制剤入り）で，商品

に表示された遮光率が40%（商品名：ダイオクールホワイト40WH），50%（商品名:ダイオクールホワイト50WH），60%（商品名：ダイオクールホワイト60WH），80%（商品名:ダイオクールホワイト80WH）の４種類を用いて遮光率が気温に及ぼす影響を検討した。

いずれもビニルのみを展張したハウスを対照とした。

試験１と同じハウスを用い各資材をビニル上に重ねて展張した。ハウスは４棟を供試し，７～10日間隔で資材を張り替えて気温の調査を行った。

1999年は８月19日から９月３日，2000年は８月１日から８月17日に被覆下の気温を調査した。




第３図　推定値によるハウス内気温の比較
（外気温が33℃、時間日射量が２ＭＪの時の推定値）
（第11，13表から作成）

## ２）結　果

《試験１》数種遮光ネットの気温上昇抑制効果の比較

### (1) 1999年

各処理内気温を目的変数に，外気温と時間日射量を説明変数とする重回帰式を作成した。その回帰式を用いて，気象条件を設定し各処理内気温を推定して，処理の効果を比較した。外気温が30℃，35℃で曇り（時間日射量が0.5MJ/m²）と晴れ（同2.5MJ/m²）の時の各資材内気温を求めた。いずれの外気温，時間日射量でも遮光ネット被覆下の気温は無遮光区に比べ２℃から４℃低下した。その低下程度は，晴れの時の方が曇りの時より大きかった。資材間に気温上昇抑制効果の差が認められ，晴れている時は，白が最も高く，次いでミラー，黒，銀であったが，曇りの時は白，黒，ミラー，銀の順に高かった（第11，12表，第３図）。

資材の遮光率（ハウス内照度／ハウス外照度）は黒と銀が同程度で高く，次いでミラーで，白が最も低く，光を最も透過した（第12表）。

### (2) 2000年

1999年と同様に，処理内気温を外気温と時間日射量から推定する重回帰式を作成し，条件を設定して各処理内気温を推定し，処理の効果を比較した。1999年と同様に，各遮光ネットの気温上昇抑制効果は認められたが，気温上昇抑制効果は銀，白，ミラー，黒の順に高かった（第13，14表，第３図）。

資材の遮光率は銀，黒，ミラー，白の順に高く，白が最も光を透過した（第14表）。

《試験２》遮光ネットの表示遮光率が気温上昇抑制効果に及ぼす影響

### (1) 1999年

ハウスビニル上に重ねて展張した時の各資材の遮光率は55%から68%で，表示されている遮光率ほど資材

第11表　遮光ネット被覆下の気温推定式（1999）

| ネット | 回帰式 | R | n | $x_1$ | $x_2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 黒 | $y=1.07x_1+1.36x_2-1.3$ | 0.972 | 35 | 22.8～32.5 | 0.2～2.8 |
| 銀 | $y=1.20x_1+0.90x_2-3.9$ | 0.983 | 35 | 22.6～31.4 | 0.4～2.8 |
| 白 | $y=1.06x_1+0.62x_2-0.8$ | 0.948 | 70 | 22.6～32.5 | 0.2～2.8 |
| ミラー | $y=1.10x_1+0.91x_2-1.4$ | 0.971 | 70 | 22.6～32.5 | 0.2～2.8 |
| 無遮光 | $y=1.19x_1+1.50x_2-3.4$ | 0.941 | 76 | 22.6～32.5 | 0.2～2.8 |

$y$：遮光ネット下気温（℃），$x_1$：外気温（℃），$x_2$：時間日射量（MJ／m²，h）
注）1999年８月５日～８月19日

第12表　遮光ネット被覆下の気温（1999）

| ネット ＼ 外気温・時間日射量 | 30℃ 0.5MJ | 30℃ 2.5MJ | 35℃ 0.5MJ | 35℃ 2.5MJ | 遮光率 % |
|---|---|---|---|---|---|
| 黒 | 31.5 | 34.2 | 36.8 | 39.6 | 54 |
| 銀 | 32.6 | 34.4 | 38.6 | 40.4 | 60 |
| 白 | 31.3 | 32.6 | 36.6 | 37.9 | 46 |
| ミラー | 32.1 | 33.9 | 37.6 | 39.4 | 49 |
| 無遮光 | 33.1 | 36.1 | 39.0 | 42.0 | 25 |

第11表より作成

第13表　遮光ネット被覆下の気温の推定式（2000）

| ネット | 回帰式 | R | n | $x_1$ | $x_2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 黒 | $y=0.71x_1+1.64x_2+9.1$ | 0.883 | 75 | 25.5～34.0 | 0.58～3.42 |
| 銀 | $y=0.81x_1+1.30x_2+5.2$ | 0.942 | 82 | 24.0～36.1 | 0.38～3.55 |
| 白 | $y=0.83x_1+1.29x_2+5.0$ | 0.929 | 157 | 24.0～36.1 | 0.38～3.55 |
| ミラー | $y=0.87x_1+1.22x_2+4.2$ | 0.921 | 157 | 24.0～36.1 | 0.38～3.55 |
| 無遮光 | $y=0.76x_1+1.82x_2+8.5$ | 0.847 | 75 | 25.5～34.0 | 0.58～3.42 |

$y$：遮光ネット下気温（℃），$x_1$：外気温（℃），$x_2$：時間日射量（MJ／m²，h）
注）2000年７月３日～８月１日

第14表　遮光ネット被覆下の気温（2000）

| ネット ＼ 外気温・時間日射量 | 30℃ 0.5MJ | 30℃ 2.5MJ | 35℃ 0.5MJ | 35℃ 2.5MJ | 遮光率 % |
|---|---|---|---|---|---|
| 黒 | 31.2 | 34.5 | 34.8 | 38.1 | 61 |
| 銀 | 30.2 | 32.8 | 34.2 | 36.8 | 61 |
| 白 | 30.5 | 33.1 | 34.7 | 37.3 | 46 |
| ミラー | 30.9 | 33.4 | 35.3 | 37.7 | 53 |
| 無遮光 | 32.2 | 35.9 | 36.0 | 39.7 | 16 |

第13表より作成

第15表　表示遮光率の異なる遮光ネット（ミラー）被覆下の気温の推定式

| 遮光率 | 回帰式 | R | n | $x_1$ | $x_2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 30% | $y=1.11x_1+0.51x_2-1.5$ | 0.950 | 152 | 22.3～32.1 | 0.1～2.7 |
| 40% | $y=1.08x_1+0.94x_2-0.6$ | 0.967 | 152 | 22.3～32.1 | 0.1～2.7 |
| 45% | $y=0.97x_1+1.55x_2+1.8$ | 0.976 | 121 | 22.3～32.1 | 0.1～2.6 |
| 60% | $y=1.04x_1+1.00x_2+0.4$ | 0.968 | 85 | 22.3～32.1 | 0.2～2.7 |
| 無遮光 | $y=1.10x_1+1.72x_2-0.8$ | 0.954 | 98 | 23.4～31.9 | 0.1～2.7 |

$y$：遮光ネット下気温（℃），$x_1$：外気温（℃），$x_2$：時間日射量（MJ／㎡，h）
注）2000年８月20日～９月14日

第16表　遮光ネット（ミラー）被覆下の気温

| 遮光率 ＼ 外気温 時間日射量 | 30℃ 0.5MJ | 30℃ 2.5MJ | 35℃ 0.5MJ | 35℃ 2.5MJ | 遮光率 % |
|---|---|---|---|---|---|
| 30% | 32.1 | 33.1 | 37.6 | 38.6 | 62 |
| 40% | 32.3 | 34.2 | 37.7 | 39.6 | 55 |
| 45% | 31.7 | 34.8 | 36.5 | 39.6 | 67 |
| 60% | 32.1 | 34.1 | 37.3 | 39.3 | 68 |
| 無遮光 | 33.1 | 36.5 | 38.6 | 42.0 | 25 |

第15表より作成

第17表　表示遮光率の異なる遮光ネット（白）被覆下の気温の推定式

| 遮光率 | 回帰式 | R | n | $x_1$ | $x_2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 40% | $y=0.90x_1+1.77x_2+3.2$ | 0.911 | 96 | 24.4～33.7 | 0.25～3.54 |
| 50% | $y=0.94x_1+1.19x_2+2.4$ | 0.919 | 96 | 24.4～33.7 | 0.25～3.54 |
| 60% | $y=0.91x_1+1.77x_2+2.8$ | 0.941 | 61 | 24.4～33.7 | 0.25～3.54 |
| 80% | $y=0.98x_1+1.07x_2+1.1$ | 0.920 | 96 | 24.4～33.7 | 0.25～3.54 |
| 無遮光 | $y=0.83x_1+0.99x_2+8.1$ | 0.759 | 35 | 28.1～33.0 | 1.02～3.51 |

$y$：遮光ネット下気温（℃），$x_1$：外気温（℃），$x_2$：時間日射量（MJ／㎡，h）
注）2000年８月１日～８月17日

第18表　遮光ネット（白）被覆下の気温

| 遮光率 ＼ 外気温 時間日射量 | 30℃ 0.5MJ | 30℃ 2.5MJ | 35℃ 0.5MJ | 35℃ 2.5MJ | 遮光率 % |
|---|---|---|---|---|---|
| 40% | 31.1 | 34.6 | 35.6 | 39.1 | 44 |
| 50% | 31.2 | 33.6 | 35.9 | 38.3 | 50 |
| 60% | 31.0 | 34.5 | 35.5 | 39.1 | 49 |
| 80% | 31.0 | 33.2 | 35.9 | 38.1 | 55 |
| 無遮光 | 33.5 | 35.5 | 37.6 | 39.6 | 16 |

第17表より作成

間の差はなかった（第16表）。

遮光ネット下の気温を外気温と時間日射量を説明変数とした重回帰式を作成し，外気温，時間日射量を設定し資材の効果を比較した。いずれも0.91以上の相関で重回帰式が得られた。その回帰式を用いて気温30℃と35℃，時間日射量（MJ/㎡,h）が2.5（晴れ）と0.5（曇り）の時の資材下の気温を推定した。いずれの設定でも，遮光ネット被覆下の気温は対照区に比べ低下した。しかし，表示されている遮光率との関係は小さく，いずれの遮光率のネットでも気温上昇抑制効果は外気温が30℃で晴れている時は１℃から３℃，曇っている時は0.5℃から１℃程度であった（第15,16表）。

(2) 2000年

ハウスビニル上に重ねて展張した時の各資材の遮光率は41％から48％で，使用した資材間に表示されている遮光率ほどの差はなかった（第18表）。

遮光ネット下の気温を目的変数に，外気温と時間日射量を説明変数とした重回帰式を作成した。いずれも0.83以上の相関係数で回帰式が得られた。その回帰式を用いて1999年と同じ気象条件を設定し資材下の気温を推定した。いずれの条件でも，遮光ネット被覆下の気温は無処理区に比べ低下した。しかし，表示されている遮光率との関係は小さく，いずれの遮光率のネットでも外気温が30℃で晴れている時は１℃から３℃。曇っている時は１℃から２℃程度であった(第17,18表)。

3）考　察

商品の表示遮光率が同じ４資材を用いて，２年間，気温上昇抑制効果を検討した。その結果，年次間でやや傾向が異なったものの，遮光ネット被覆による気温上昇抑制効果が認められた。1999年は対照ハウスの気温が外気温より６℃高く，2000年は４℃高くなり，多くの遮光ネット被覆下の気温はそれより約２℃低くかった。1999年の白ネットは，それよりさらに約1.5℃低くなった。

ここで用いた４種類の遮光ネット被覆による遮光率は，ビニルの遮光率とあわせておおよそ45％から60％で，資材間に差が認められた。すなわち，黒，銀は60％で高く，ミラーが50％，白は45％で最も遮光率が低く，光線をよく透過した。

本研究では，植物の栽培を行わずに，気温のみを測定し，効果を判断したが，植物の栽培を行った場合には，光合成確保のために，多くの作物で，ある程度の光量を必要とする。野菜の好適光強度については東出[3]によって整理されている。遮光資材の選定には，この光量と気温上昇抑制効果とをあわせて考える必要がある。明るさを確保し，気温上昇を抑制することを目的とした場合，本研究で供試した資材では，白ネット（気温上昇抑制剤入り）が光量が確保でき，気温上昇抑制効果が他資材と同程度かやや大きいことから適すると判断した。

本研究では検討できなかった植物の表面温度や地温等については遮光率の影響が強く現れる可能性もある。目的別の利用方法や気温，日射量だけでなく光合成有効波長域の透過量等他の要因及び近年種類が増えてきた機能性遮光資材等も含めて，年次間等で異なる回帰式の精度向上のための要因解明について検討が必要である。ホウレンソウについては，夏まきで遮光の効果を気温，地温から生育，収量を検討した黒住ら[8]の報告や最適遮光率が生育時期で異なっているので，２枚の遮光ネットを利用して遮光率を調節する安

定生産に関する井上ら[5]の報告等，作物側からの必要性に応じた利用法の改善等も検討する必要がある。

また，試験２では，ミラーと白の２つの資材を用いて表示遮光率を変えて，表示遮光率が遮光ネット被覆下の気温に及ぼす影響を検討した結果，いずれの資材の表示遮光率でも，対照区より気温は低く，気温上昇抑制効果が認められた。ビニル上に重ねて展張した遮光ネット下の照度で求めた遮光率は，表示遮光率との間に一定の傾向は認められず，また，差も小さかった。資材展張下の気温についても，外気温30℃以上の時は，晴れでも曇りでも，その差は1.5℃から0.5℃程度で，表示遮光率との関係は小さかった。ここで用いた商品については，実際の使用に見合った遮光率へ表示方法の改善が必要である。

## ３　フィルムマルチの色，被覆場所，厚さが地温に及ぼす影響

フィルムマルチの色，被覆場所，フィルムの厚さがマルチ下の地温に及ぼす影響を検討した。

### １）試験方法

《試験１》フィルムマルチの色，被覆場所が地温に及ぼす影響

幅150cm（床幅75cm，高さ15cm）の畦をハウス内と露地に作り，透明（厚さ0.02㎜），配色（厚さ0.02㎜，中央の40cmが透明で両側が黒），黒（厚さ0.02㎜），シルバー（厚さ0.025㎜），白黒（厚さ0.025㎜，白が上面）の５種類のフィルムマルチを展張した。いずれもフィルムマルチの幅は135cmのものを利用した。無被覆（裸地）を対照とした。

植物は栽培せずに地温のみを測定した。また，時々潅水し土壌を湿らせた状態で管理した。地温は，畦中央の地表面から10cm下を測定した。調査期間は1999年４月２日から４月20日と，６月21日から８月19日の59日間であった。温度は打点式温度記録計で測定した。また，所内に設置している気象観測装置の気温，日射量等の測定値を利用した。

《試験２》フィルムマルチの色，被覆場所，厚さが地温に及ぼす影響

ハウス内と露地に《試験１》と同じ形の畦を作成した。その畦に，透明（厚さ0.02㎜と0.07㎜），黒（厚さ0.02㎜と0.05㎜），シルバー（厚さ0.025㎜と0.05㎜）の３色で２種類の厚さのマルチを展張した。フィルムマルチの幅は135cmのものを利用した。

管理状況，地温の測定場所等は試験１に準じた。調査は2000年３月28日から８月１日の間に行った。

### ２）結　　果

《試験１》フィルムマルチの色，被覆場所が地温に及ぼす影響

最高気温と日日射量を説明変数にして，最高地温を目的変数とした重回帰式を，最低気温と前日の最高気温を説明変数にして，低地温を目的変数とした重回帰式を求めた（第19，20表）。いずれの重回帰式も0.9以上の相関であった。４月下旬の平年値に相当する最高気温22℃，最低気温9.5℃，日日射量15MJ/㎡と７月下旬の平年値に相当する最高気温31℃，最低気温22℃，日日射量17MJ/㎡を用いて，得られた重回帰式からマルチ下の地温を推定した。（最高地温＋最低地温）／２で算出した平均地温でその資材の効果を比較した。平均地温は，ハウス内が露地より高く，その差は４月が７月より大きかった。また，いずれの色のマルチも裸地の地温より高かったことから，ここで用いた５種類のフィルムマルチは地温上昇効果があることが明らかになった（第21表）。

**第19表　最低気温，前日の最高気温からの最低地温の推定**

| 処理 ハウス | 処理 マルチの色 | 回帰式 | R | n |
|---|---|---|---|---|
| 露地 | 裸地 | $y=0.68x_1-0.275x_2+4.01$ | 0.990 | 62 |
| 露地 | 透明 | $y=0.45x_1+0.698x_2+2.81$ | 0.962 | 56 |
| 露地 | 配色 | $y=0.48x_1+0.637x_2+3.08$ | 0.968 | 62 |
| 露地 | 黒 | $y=0.63x_1+0.552x_2+1.23$ | 0.978 | 62 |
| 露地 | シルバー | $y=0.54x_1+0.538x_2+2.47$ | 0.973 | 62 |
| 露地 | 白黒 | $y=0.67x_1+0.395x_2+2.01$ | 0.986 | 62 |
| ハウス | 裸地 | $y=0.40x_1+0.335x_2+10.39$ | 0.983 | 62 |
| ハウス | 透明 | $y=0.24x_1+0.596x_2+11.74$ | 0.943 | 62 |
| ハウス | 配色 | $y=0.29x_1+0.583x_2+10.35$ | 0.953 | 62 |
| ハウス | 黒 | $y=0.41x_1+0.508x_2+8.81$ | 0.970 | 62 |
| ハウス | シルバー | $y=0.29x_1+0.491x_2+11.41$ | 0.963 | 62 |
| ハウス | 白黒 | $y=0.30x_1+0.397x_2+11.86$ | 0.965 | 62 |

$x_1$：最低気温（外気温，℃）$x_2$：前日の最高気温（外気温，℃）
$x_1$，$x_2$の範囲　$-1.2℃\leqq x_1\leqq 24.9℃$，$12.6℃\leqq x_2\leqq 37.5℃$
注）調査期間：1999年４月３日～20日，６月21日～８月19日

**第20表　最高気温，日射量からの最高地温の推定**

| 処理 ハウス | 処理 マルチの色 | 回帰式 | R | n |
|---|---|---|---|---|
| 露地 | 裸地 | $y=1.26x_1-0.042x_2-3.51$ | 0.949 | 61 |
| 露地 | 透明 | $y=1.25x_1+0.553x_2+1.31$ | 0.944 | 56 |
| 露地 | 配色 | $y=1.62x_1+0.537x_2-9.20$ | 0.947 | 61 |
| 露地 | 黒 | $y=1.32x_1+0.211x_2-3.26$ | 0.951 | 61 |
| 露地 | シルバー | $y=1.20x_1+0.295x_2-2.23$ | 0.935 | 61 |
| 露地 | 白黒 | $y=1.14x_1+0.006x_2-1.98$ | 0.954 | 61 |
| ハウス | 裸地 | $y=0.76x_1+0.195x_2+9.88$ | 0.960 | 74 |
| ハウス | 透明 | $y=0.86x_1+0.700x_2-10.11$ | 0.939 | 74 |
| ハウス | 配色 | $y=1.05x_1+0.710x_2-5.40$ | 0.963 | 74 |
| ハウス | 黒 | $y=1.04x_1+0.259x_2+5.01$ | 0.934 | 74 |
| ハウス | シルバー | $y=0.88x_1+0.308x_2+8.57$ | 0.949 | 74 |
| ハウス | 白黒 | $y=0.67x_1+0.279x_2+11.70$ | 0.929 | 74 |

$x_1$：最高気温（外気温，℃）$x_2$：日日射量（MJ／㎡）
$x_1$，$x_2$の範囲　$12.6℃\leqq x_1\leqq 37.5℃$，$1.4MJ\leqq x_2\leqq 21.43MJ$
注）調査期間：1999年４月３日～20日，６月21日～８月19日

第21表　各処理の時期別平均地温の推定値

| | ４月下旬 | | ７月下旬 | | 光線 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 露地 | ハウス | 露地 | ハウス | 透過率 |
| 裸地 | 20.1 | 25.5 | 31.2 | 33.2 | － |
| 透明 | 29.8 | 33.3 | 41.9 | 42.1 | 89 |
| 配色 | 28.1 | 32.5 | 41.8 | 42.4 | 89 |
| 黒 | 24.2 | 27.8 | 36.7 | 37.6 | 1 |
| シルバー | 24.0 | 28.8 | 35.5 | 37.0 | 2 |
| 白黒 | 20.1 | 27.0 | 31.2 | 34.0 | 1＞ |

４／下：最高気温22℃，最低気温9.5℃，日射量15MJ／㎡
７／下：最高気温31℃，最低気温22℃，日射量17MJ／㎡
光線透過率：フィルムマルチの光線透過率％　第19,20表から作成

第22表　フィルムマルチの場所，色，厚さが地温に及ぼす影響（2000）

| | | | ４月下旬 | | | ７月下旬 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 場所 | 色[z] | 厚さ | 最高 | 最低 | 平均 | 最高 | 最低 | 平均 |
| ハウス | シ | 薄い | 30.4 | 24.4 | 27.4 | 39.0 | 34.0 | 36.5 |
| | シ | 厚い | 31.3 | 24.9 | 28.1 | 39.4 | 34.2 | 36.8 |
| | 黒 | 薄い | 30.4 | 24.3 | 27.3 | 38.1 | 33.2 | 35.7 |
| | 黒 | 厚い | 32.2 | 24.4 | 28.3 | 39.8 | 33.3 | 36.5 |
| | 透明 | 薄い | 32.8 | 25.8 | 29.3 | 41.4 | 34.3 | 37.8 |
| | 透明 | 厚い | 35.0 | 26.1 | 30.5 | 42.7 | 34.5 | 38.6 |
| 露地 | シ | 薄い | 26.6 | 19.7 | 23.2 | 34.9 | 30.3 | 32.6 |
| | シ | 厚い | 26.4 | 19.9 | 23.2 | 34.9 | 30.2 | 32.5 |
| | 黒 | 薄い | 27.5 | 20.0 | 23.8 | 36.0 | 31.0 | 33.5 |
| | 黒 | 厚い | 28.7 | 21.2 | 25.0 | 37.1 | 31.1 | 34.1 |
| | 透明 | 薄い | 33.1 | 22.9 | 28.0 | 39.2 | 32.2 | 35.7 |
| | 透明 | 厚い | 33.2 | 22.6 | 27.9 | 39.7 | 32.0 | 35.9 |
| 分散分析結果 | 場所（A） | | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| | 色（B） | | ** | * | * | ** | ** | ** |
| | 厚さ（C） | | * | N.S | N.S | ** | N.S | * |
| | A×B | | * | N.S | N.S | ** | * | ** |
| | A×C | | N.S | N.S | N.S | * | N.S | N.S |
| | B×C | | N.S | N.S | N.S | * | N.S | N.S |

それぞれのマルチの最低地温，最高地温を求める重回帰式から算出
４月下旬の値 最高気温 22℃，最低気温 9.5℃，日射量 15MJ／㎡
７月下旬の値 最高気温 31℃，最低気温 22℃，日射量 17MJ／㎡
厚さ　薄い：0.02～0.025㎜，厚い：0.05～0.07㎜
Z）シ：シルバー

露地区では４月，７月とも，地温上昇効果が高かった透明と配色，中程度の効果の黒，シルバー，効果が低い白黒と裸地の３種に分類できた。しかし，ハウス区では，地温上昇効果が高い透明と配色と効果が低い白黒と裸地は明確に分類できたが，黒とシルバーは４月下旬の地温は地温上昇効果の低い白黒の地温に近く，７月では透明と白黒の中間に位置し，時期によりその効果が異なった。

《試験２》フィルムマルチの色，被覆場所，厚さが地温に及ぼす影響

試験１同様，最高地温を最高気温と日日射量で，最低地温を最低気温と前日の最高気温で推定する重回帰式を求めた。いずれも0.93以上の相関であった。その回帰式を用いて，４月下旬と７月下旬の最高地温，最低地温を推定した（第22表）。

第23表　マルチの厚さが地温に及ぼす影響（主効果，2000）

| | ４月下旬 | | | ７月下旬 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 厚さ | 最高 | 最低 | 平均 | 最高 | 最低 | 平均 |
| 薄い | 30.2 | 22.9 | 26.5 | 38.1 | 32.5 | 35.3 |
| 厚い | 31.1 | 23.2 | 27.2 | 38.9 | 32.6 | 35.7 |

それぞれのマルチの最高地温，最低地温を求める重回帰式から算出
４月下旬の値 最高気温 22℃，最低気温 9.5℃，日射量 15MJ／㎡
４月下旬の値 最高気温 31℃，最低気温 22℃，日射量 17MJ／㎡

最高地温は，いずれの時期も被覆場所，フィルムの色，フィルムの厚さの影響が認められた。ハウス内被覆は露地被覆に比べ約３℃，透明フィルムは黒やシルバーフィルムより３℃から４℃，厚いフィルムは薄いフィルムに比べ１℃高かった。黒とシルバーの差は小さかった（第23表）。

最低地温は，いずれの時期も被覆場所とフィルムの色の影響は認められたが，フィルムの厚さの影響は認められなかった。ハウス内被覆は露地被覆より３℃から４℃高く，透明は黒，シルバーより１℃から２℃高かった。黒とシルバーの差は小さかった。

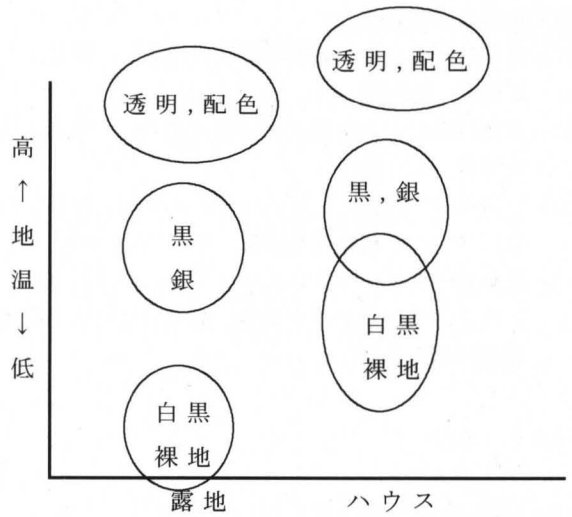
平均地温は，いずれの時期も被覆場所，フィルムの色，厚さの影響が認められた。ハウス内被覆は露地被覆に比べ約３℃，透明フィルムは黒やシルバーより約２℃，厚いフィルムは薄いフィルムより0.5℃高かった。

### ３）考　察

フィルムマルチの色を透明，黒，シルバーの３色，被覆場所をハウス内と露地，フィルムの厚さを0.05㎜から0.07㎜程度の厚いものと0.02㎜程度の薄いものを組み合わせて地温に及ぼす影響を検討した。４月下旬と７月下旬の平年気象を想定して，最高地温，最低地温を重回帰式より推定し，平均地温を求めた。

地温に及ぼす各要因について，分散分析を行った結果，フィルムの厚さは最高地温で有意な差が認められたが，最低地温では有意な差は認められなかった。また，フィルムの色や被覆場所の影響は４月，７月のいずれの時期も最高地温，最低地温に差が認められた。このことから，地温は被覆場所，マルチフィルムの色の影響を受け，フィルムの厚さの影響は小さいことが明らかになった。

このことから，フィルムマルチの色を増やして，被覆場所が地温に及ぼす影響を検討した。ハウス内，露地のいずれの場所でも，フィルムマルチは裸地に比べ高い地温を示し，地温上昇効果があることが明らかになった。この地温上昇効果は，露地では透明，配色が高いグループ，白黒と裸地が低いグループ，黒とシルバーが中間のグループと３グループに分類された。ハウスでは透明，配色が高いグループとして位置づけられたが，黒，シルバー，白黒，裸地の区別は明確でな




**第４図　フィルムマルチの色と被覆場所による地温変化**
**（第21表より作成）**

かった。また，ハウス内被覆は露地被覆に比べ地温が高かったが，その両者の差は７月より４月が大きかった。したがって，フィルムの色を選択する場合，それぞれの色の地温上昇効果の高低とあわせて，被覆場所や主な使用時期等も考慮する必要があることが示された（第４図）。

## Ⅳ　総合考察及び結論

本研究では，数種の環境制御のための資材利用時の気温や地温の推定方法と，2，3の利用方法における効果判定を行った。

資材下の気温や地温の推定には，外気温や日射量，前日の最高気温等の複数の気象要因を用いることで推定精度が向上することが明らかになった。この手法を用いてトンネルの被覆場所や開孔率，遮光ネットの種類，フィルムマルチの色や被覆場所等が気温や地温に及ぼす影響を検討した結果，トンネルフィルムの開孔率やフィルムマルチの色が気温や地温に及ぼす影響は被覆場所で異なることが明らかになり，利用する場合に注意が必要なことが示された。

しかし，回帰式が年次によって異なったり，相関が事例によってやや低いものが確認された。防虫ネットを被覆した施設内の気温推定に外気温と時間日射量，風速を用いると推定精度が向上した事例[12]もあることから，他の環境要因等の検討も必要と考えられたが，本研究では検討できなかった。今後，検討を要する。

本研究では，植物は栽培せずに，気温や地温調査のみを行ったが，フィルムマルチの色が地温のみでなく光的環境に影響している（Decoteau et al[1]）との報告があり，植物への影響も考慮する必要がある。また，作物の植被型の影響も検討され（アチャナら[2]），対象作物による差異も考慮する必要があり，要因が複雑になることが予想される。さらに，フィルムマルチも機能性が付与され高機能化している。このような新資材を含めて，今後は，機能性資材の分類と作物を栽培しながらの検討が必要と考える。

## Ⅴ　摘　　要


1　トンネル内気温，遮光ネット被覆下の気温，フィルムマルチ下の地温の推定方法を検討した結果，以下のことが明らかになった。
　1）トンネル内の夜間の気温は外気温との単回帰式で推定できた。また，昼間の気温は外気温と時間日射量の重回帰式で推定できた。
　2）遮光ネット被覆下の気温は外気温と時間日射量との重回帰式で推定できた。
　3）フィルムマルチ被覆下の最高地温は，最高気温と日日射量の重回帰式で，最低地温は，最低気温と前日の最高気温の重回帰式で推定できた。
2　有孔フィルムの保温効果，気温上昇抑制効果は被覆場所と開孔率による差が認められた。
3　遮光ネット被覆による気温上昇抑制効果は資材により差が認められ，遮光率，気温上昇抑制効果から，白ネット（気温上昇抑制剤入り）が優れた。
4　フィルムマルチ被覆下の地温は，被覆場所，フィルムの色の影響を受け，ハウス内被覆は露地より高く，黒マルチに比べ，透明マルチは高く，白黒マルチは低かったが，シルバーマルチとの地温差は小さかった。


## 引用文献


1）Decoteau, D, R., M. J. KASPERBAUER and P.G.. HUNT（1989）：Mulch surface cokor affects yield of fresh-market tomatoes, J.Amer. Hort. Sci, 114（2），216～219
2）アチャナ　デュアンパン・鈴木晴雄・中西景子・奥田延幸・松井年行・藤目幸擴（2002）：作物の植被型がフィルムマルチ下地温に及ぼす影響，農業気象，58（1），23～32
3）東出忠桐（2004）：新訂園芸用被覆資材，園芸情報センター，野菜栽培と被覆資材，97～107
4）稲田勝美（1971）：着色プラスチックフィルムの分光透過性，生物環境調節，Vol9, 120～123
5）井上昭司・熊倉裕史・村上健二・荒木陽一（2001）：ホウレンソウの周年生産における環境改善技術，農業および園芸，第76巻，49～56, 297～303
6）神保信幸（2004）：野菜園芸大百科（23）施設、

資材、産地形成事例，農文協 トンネル，76～85
7）川城英夫（2004）：野菜園芸大百科（23）施設、資材、産地形成事例，農文協 マルチ，57～63
8）黒住徹・大原正行・土井正彦・川島信彦(1988)：遮光による昇温抑制効果を活用した夏まきホウレンソウ栽培，奈良農試研報，第19号，31～37
9）内藤文男（2004）：野菜園芸大百科（23）施設、資材、産地形成事例，農文協 被覆資材の特性と取り扱い，14～36
10）農業技術センター畑地利用部（2002）：被覆資材利用の手引き
11）農業技術センター畑地利用部（1999）：野菜試験成績書，62～77
12）農業技術センター畑地利用部（2000）：野菜試験成績書，47～68
13）小倉祐幸（1973）：ビニールハウスの自然換気回数について，植物環境調節，Vol. 11，1～5
14）佐藤如（2000）：トンネルフィルムの開孔率がトンネル内気温に及ぼす影響 園芸学会九州支部研究集録第８号65

## Temperature Estimation Method in Plastic Tunnels, Nets for Shading and Soil Temperature Under Film Mulch by Some Environmental Elements and Effect of These Materials in Summer and Autumn Cultivation.

Hitoshi SATO, Sadaaki ABE, Kazuyuki SATO and Hideyo GOTO

### Summary

We found out that presumption method of temperature in plastic tunnel, net for shading and soil temperature under plastic film mulch.

1）It was possible to estimate temperature in a plastic tunnel at night by a single regression equation using outside temperature as factor. And daytime temperature was estimated by a multiple regression equation using outside temperature and the amount of isolation per hour as factors.
2）It was possible for temperature under nets for shading to be estimated by a multiple regression equation using outside temperature and amount of isolation per hour as factors.
3）It was possible for maximum soil temperature under plastic film mulch to be estimated by a multiple regression equation using maximum temperature and amount of isolation per day as factors .

2 Hole proportion of plastic film tunnels effected control temperature by maintaining warmth during the night and daytime.

3 Temperature under nets for shading differed in materials. White nets were superior to other materials that control the rise in temperature

4 Soil temperature under some plastic film mulch was affected by place and color of mulch. Soil temperature in greenhouses covered by some plastic film mulch become higher than in open fields. Clear mulch was higher than black mulch, white−black mulch was lower than black mulch, and soil temperature of silver mulch was the same as black mulch.