PE, PVC一重被覆ハウスの熱貫流

—温室の保温性と被覆材(1)—

皆川 秀夫・立花 一雄

(北里大学獣医畜産学部)

The Overall Heat Transfer of Greenhouses Covered with
PE and PVC Single Layer — The Heat Insulation Efficiency
of Greenhouses and their Covering Materials (1) —

Hideo MINAGAWA and Kazuo TACHIBANA

(School of Veterinary Medicine and Animal Sciences,)
Kitasato University, Towada-shi, Aomori 034

1. はじめに

施設園芸用の軟質プラスチック被覆材として諸外国ではポリエチレンフィルム(以下PE)が多量に使用されているにもかかわらず、わが国では塩化ビニールフィルム(以下PVC)が多い(Buclon, 1974)。とりわけわが国では、PEハウスよりもPVCハウスの設置面積が圧倒的に多い(農林省野菜振興課, 1978)。その理由の一つに、PVCはPEに比して長波放射透過率が小で保温性に優れている点あげられている(たとえば、杉山ら, 1967; 立花, 1969; 1974)。しかし、これらの研究は無加温時のものである。夜間無加温時には、長波放射透過率の大きいPEハウスは床面、作物面が直接に大気と多量の放射交換を行って被覆面より低温となるのに反し、長波放射透過率の小さいPVCハウスは被覆面が多量の放射交換を行って外気より低温となるため、PVCハウスでは外気からPEハウスより多量の熱を対流によって受取り、その結果PVCハウス内気温が比較的高温に保たれるという立花(1969; 1974)の見解は加温時にはそのままは適用できない。夜間無加温時のハウスの熱源は土中と外気で、それぞれ床面と被覆面への熱流を生ずるが、加温時にはハウス内空気が加温され内気温が高温となるため、床面から土中へあるいは被覆面から外気への熱流が生ずる場合があるからである。

加温時において温室被覆材の長波放射特性を考慮して熱貫流現象、とくに熱貫流率を取り扱った研究にはHoriguchi (1978), 三原・林(1979), 立花(1980;

1981)などがあるが、本研究では実験的にPE, PVC一重被覆ハウスの熱貫流現象をさらに明確にして加温時における温室被覆材の保温性の検討に資するとともに、熱貫流の背景となるハウスの保温比に触れることとする。

2. 実験装置および実験方法

加温時における温室被覆材の保温性は一般に貫流熱量あるいは熱貫流率で評価される。本研究ではPE, PVC一重被覆ハウスの被覆保温力を貫流熱量あるいは熱貫流率で定量化するために実験装置を作製した。

東京大学農学部環境調節工学研究室別館2階屋上にFig. 1に示すような小型アルミニウム製ハウス2棟を設置し、床面、壁面(側壁面+妻面)を厚さ0.1 mのロックウール断熱材(熱伝導率 $0.04 \text{ kcal m}^{-1} \text{ hr}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)でそれぞれ被覆し、断熱材に防水を施した上、壁面の外表面には補強のため合板材をあてがった。なお壁面の内表面はアルミ箔を張った。床面は断熱材の上面に合板材を敷きつめた。各棟の屋根面には0.1 mm厚で透明軟質のPEとPVCをそれぞれ被覆し、放熱面とした。屋根面のみを放熱面としたのは敷地面積の関係から2棟相互間の影響を極力抑えたためであるが、そのため保温比の意義が後述のように通常の温室とは変り、検討の必要を生じた。保温比の詳細は続報で述べるが、トレンチハウス、熱貫流率測定ボックスなどの特殊型温室については保温比の取扱いに留意を要すると思われる。Fig. 1のハウス内の各面積は、屋根面積が 8.4 m^2 、床面積が 7.6 m^2 、壁面積が 18.2 m^2 であった。また容積は約 14 m^3 である。

加温方式は温風暖房を用いた。温湯暖房では暖房配管からの長波放射が床面、被覆面に達し熱貫流現象を複雑

Fig. 1. Cross section and floor plan of the experimental greenhouses erected on the building.

にするからである。各棟に容量 3 kW の電気温風ヒーターを設置し、積算電力計によって消費電力を求めた。またヒーターの前方についで(表面アルミ箔被覆)を置き、温風が壁面に局部的に当るのを防ぐとともに、ハウス内気温が均一になるようにした。その結果ハウス内気温を 30℃ (外気温 21℃) に設定したときのハウス内気温分布は、PEハウスで -1.0 ~ +0.5℃, PVCハウスで -0.5 ~ +0.7℃ の範囲内におさめることができた。これは床面上 50, 100, 150 cm 高さそれぞれ 8 ケ所, 180 cm 高さ 4 ケ所の測定値である。ハウス内の気温制御はミニコンピューターを用いて行った。ハウス内外気温差 10, 20, 30℃ 設定時におけるハウス内気温の時間的変動幅はハウス内中央において、それぞれ -0.6 ~ +0.4℃, -0.7 ~ +0.7℃, -0.9 ~ +0.8℃ であった。これらの結果から、ハウス内中央付近の 2 ケ所をハウス内気温の代表点として用い、その平均値をハウス内気温とした。ハウス内の乾球・湿球温度を通風式熱電対温度計により、また、床面、壁面、被覆面(屋根面)の各内表面温度を、それぞれ 2, 3, 2 ケ所を代表点として、0.1 mmφ の C-C 熱電対によって測定した。

ハウス被覆材の貫流熱量は、ヒーター発生熱量から換気伝熱量と断熱材を通過する熱量を差引いて求められる。ハウスは気密性の保持につとめたので、 $4 \sim 5 \text{ ms}^{-1}$ の屋外平均風速時に換気回数は $0.02 \sim 0.18 \text{ 回 hr}^{-1}$ で、そのため換気伝熱量はヒーター発生熱量に対して通常 0 ~ 2%, 最大でも 4.5% であった。これに対して断熱材を通過する熱量は比較的大で 5.3 ~ 15% となった。ただし例外的に 20% をこえる値が 2 例あった。断熱材を通過する熱量は、

断熱材内外面の差温に熱伝導率および断熱材の面積を掛け、断熱材の厚さで除して求めた。

長波放射透過率を異にする被覆材の熱貫流を基本的に検討するには、被覆材内外面の放射伝熱と対流伝熱を分離して考察することが必要である。よって被覆材内外面にフック型純放射計を設置し、放射伝熱量を測定した (Fig. 1)。対流伝熱量は貫流熱量から放射伝熱量を差引いて求めた。

屋外気象条件として、外気の乾球・湿球温度を通風式熱電対温度計により、屋上面有効放射量をフック型純放射計により、さらに屋上北東側 6 m 高さの風向・風速を三杯型風向風速計によってそれぞれ測定した。

熱貫流測定実験は天候の比較的安定している、ほぼ快晴に近い夜間晴天日と雲量が 10 に近い夜間曇天日を選んで行った。測定期間は 1979 年 11 月 ~ 1980 年 1 月である。

3. 実験結果および考察

3.1 貫流熱量

測定期間中の気象条件の変動による誤差を小とするため、天候の比較的安定した夜間に設定温度をいくつかに変え、各設定温度に対し熱流がほぼ定常状態に達してから 30 分間の測定値を用い結果を整理した。一つの定常状態から次の定常状態への移行にはほぼ 1 時間を要した。

晴天日、曇天日における PE, PVC 両ハウスの単位被覆面積当り貫流熱量 (H) をハウス内外気温差 ($\Delta\theta$) によって整理した結果を Fig. 2 に示す。なお最小二乗法によって得た回帰曲線も Fig. 2 に併記した。

Fig. 2 によれば PE, PVC 両ハウスとも内外気温差によって貫流熱量は著しく異なるが、晴天日、曇天日とも PE と PVC の貫流熱量の差は内外気温差にかかわらず大きな差異を生じない。このことは、基準になる被覆材を定め、それに一定量の熱量を付加すると他の被覆材の場合の貫流熱量が得られることを示している。プラスチック被覆材は長波放射に透過性であるから、その熱貫流現象はガラスに比して複雑である。したがってガラス温室を基準として他の被覆材の場合は増加量を以て表わすことが現実的であろう。また、Hanson (1963) が各種被覆材の夜間有効放射抑制量を protection index (PI) で表わしたように、

$$H_R = H(\text{Plastic}) / H(\text{Glass}) \quad (1)$$

を熱貫流比 (H_R) として被覆材の保温性を表わすこともできる。ここで H は被覆材単位面積当りの貫流熱量である。本実験ではガラス温室を設置できなかったので代りに、

$$H_R = H(\text{PE}) / H(\text{PVC}) \quad (2)$$

Fig. 2. The values of overall heat transfer (H) of PE and PVC-houses as a function of the inside-outside air temperature difference ($\Delta\theta$) on the clear and on the cloudy nights during the period Nov. 1979 to Jan. 1980. The weather factors; θ_o : Outside air temperature ($^{\circ}\text{C}$), V : Mean velocity of wind (m s^{-1}), and R_n : Net long-wave radiation at the rooftop surface of the building (ly min^{-1}).

を用いることとした。Fig. 3 にこの結果を示す。

Fig. 3 によれば熱貫流比は、内外気温差の増大とともに低下し、また内外気温差の大なるときは晴天日と曇天日の値がほぼ一致するが、小なるときは晴天日の方が高い値を示す。内外気温差の差異にかかわらずPEとPVCの貫流熱量の差に大差がないことから、貫流熱量の大きい、したがって内外気温差の大きいほど熱貫流比は小となり、加熱量が大なるほど被覆材の長波放射透過率の影響

Fig. 3. Ratio of the overall heat transfer of the PE-house to that of the PVC-house.

Fig. 4. Net long-wave radiation, and convection heat transfer at the inside and at the outside surfaces of both greenhouses on a clear night. The weather factors; θ_o : $1.6 \sim 3.6$ ($^{\circ}\text{C}$), V : $0.2 \sim 2.5$ (m s^{-1}), and R_n : $0.13 \sim 0.14$ (ly min^{-1}).

響が小となってゆくことがわかる。被覆材の保温性は無加温時のみによって論じられないことが明らかである。

この現象をさらに明白にするために、貫流熱量を被覆材内外面の放射、対流伝熱量に分離した晴天日の一例を Fig. 4 に示す。

Fig. 4 のように、長波放射透過率の高い PE は床面が直接大気と放射交換を行う量が多いため、被覆材内面の放射伝熱が PVC に比し大で、内面の対流伝熱量は小となる。被覆材外面では長波放射射出・吸収率の高い PVC は対流伝熱に比し放射伝熱量が大となり、加熱量が少ない場合、したがって内外気温差が小なる場合には外面放射伝熱量を内面からの放射、対流伝熱量で補うことができず外気から被覆面への対流伝熱が生じ、これらの和が外面放射伝熱量になる。したがってハウスの熱損失は、(外面放射伝熱量) - (外気→被覆面对流伝熱量)で、射出率の高い被覆材ほど外気からの対流受熱量が大となるため加熱量は少量ですみ保温上有利である。しかし内外気温差が大、したがって加熱量が大となるにつれて被覆面温度が高くなり、外面対流伝熱による受熱量が小となって、さらに放熱に転ずる。それゆえ射出率の大なる PVC の保温上の有利性は内外気温差を大にとるほど減少する。PE もわずかの長波放射射出・吸収率があるため、内外気温差が小なとき外気から対流受熱が生ずるが、PVC より低いハウス内気温で放熱に転ずる。

従来からいわれてきた長波放射射出・吸収率の高い被覆材の保温上の有利性はこのように加温時にはその程度が低下し、それは内外気温差が大となるほど著しい。ただし同じハウス内気温でも PE は PVC よりも作物面の放射冷却が大で葉面が冷えやすいから、PE の保温上の不利はなお残ると考えられる。

3.2 熱貫流率

温室被覆材の熱貫流率は通常、単位被覆面積当りの貫流熱量を温室内外気温差で除して求める。

Fig. 2 のデータに基づく PE、PVC 両ハウスの熱貫流率 (h_t) を Fig. 5 に示す。

Fig. 5 によれば、ハウス内外気温差が小の場合には PE、PVC 両ハウスとも熱貫流率は著しく大となっている。ハウス内外気温差が小のとき、熱貫流率は内外気温差の大小に影響されるという報告(Horiguchi, 1978; Okada and Takakura, 1981)があるが、立花(1980; 1981)はこの現象が外気有効放射の等価温度に基づくとして理論的に説明している。曇天日の熱貫流率が小なるのも外気有効放射の低下によるものと考えられる。PE、PVC の比較では PE の熱貫流率が常に高いが、その差は内外気温差の増加とともに減少し、保温性の差が小となってゆくのがわかる。また得られた熱貫流率は通

Fig. 5. Overall heat transfer coefficient (h_t) of PE and PVC-houses, as a function of the inside-outside temperature difference ($\Delta\theta$), according to the data in Fig. 2.

常の温室に比し晴天日で $1.5 \sim 2.0 \text{ kcal m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ほど大である。この理由は壁面を断熱材とアルミ箔で被覆したため、保温比が通常の温室と異なるからであろう。このような特殊型の温室では 3.4 節で述べるとおり保温比の検討を要する。

3.3 被覆材内面に水分が付着した場合の熱貫流

実際に作物を栽培しているハウスや温室などでは被覆材内面に水滴や水膜が付着している場合がある。水は長波放射に対して射出・吸収性を有するから、その付着によって被覆材の長波放射特性が変化し、貫流熱量、熱貫流率が変わると考えられる。その概要を知るために水分付着時の実験を行った。なお本実験で供試した被覆材は PE が有滴性、PVC が流滴性である。

あらかじめハウス内を高温(約 50°C)に加温し、噴霧器で被覆材内面に霧を吹付け、さらにハウス内を多湿にした上、ハウス内気温を低下させて水分を被覆材内面にむらなく付着させた。有滴性の PE では粒径数 mm から微細なものまで水滴が見られた。流滴性の PVC では薄い水膜が形成された部分と水滴が付着した部分が主として認められた。測定は夜間快晴日を選んだ。屋外平均風速は $0.1 \sim 1.9 \text{ m s}^{-1}$ 、外気温 $6.6 \sim 14.0^{\circ}\text{C}$ 、屋外有効放射量は $0.11 \sim 0.13 \text{ ly min}^{-1}$ であった。Fig. 6 に PE、PVC 両ハウスの熱貫流率を、Fig. 7 にはその熱貫流比をそれぞれ示す。なお Fig. 6 には Fig. 5 で得られた水分付着のない晴天日のデータの回帰曲線を、また Fig. 7 には Fig. 3

Fig. 6. Overall heat transfer coefficient (h_t) of PE and PVC-houses with condensation at the interior film surface on the clear nights during the period Jan. 1980. The regression curves with no condensation on the clear nights, according to the data in Fig. 5, are also plotted.

Fig. 7. Ratio of the overall heat transfer of the PE-house to that of the PVC-house, with condensation at the interior film surface, on the clear nights during the period Jan. 1980. The regression curves with no condensation on the clear and on the cloudy nights, according to the data in Fig. 3, are also plotted.

で得られた水分付着のない晴天日と曇天日のデータの帰曲線をそれぞれ併記した。

両図とも水分付着のない晴天日のデータに比し、PEとPVCの差異が減少したことを示している。またFig. 6で熱貫流率はPE、PVC両者とも減少し曇天日の値に近くなったが、その程度はPEが著しい。これらのことは水分付着によって両者とも長波放射透過率が減少したが、もともと透過率の大きいPEが著しく影響を受けたことを示している。

3.4 実験ハウスの保温比と熱貫流率

屋根面、壁面がすべて被覆材で覆われている通常の温室に比し、本実験ハウスでは床面が断熱材で、壁面がアルミ箔張りの断熱材で囲まれている。このため本実験ハウスの保温比の取扱いに検討の必要が生ずる。

本実験では温風暖房によってハウス内空気を加熱しているから、熱源から対流によって床面、壁面へ伝熱が起るが、それらの面が断熱されているためその対流伝熱量は長波放射となって被覆面と天空へ向う。また熱源の一部は対流によって被覆面へ達する。床面温度を θ_f (°C)、壁面温度を θ_w (°C)、ハウス内気温を θ_i (°C)、被覆面温度を θ_c (°C)、被覆材単位面積当りのハウス内空気加熱量を q_i (kcal m⁻² hr⁻¹)、ハウス内対流熱伝達係数を h_{ai} (kcal m⁻² hr⁻¹ °C⁻¹)とすると、熱源から各面への対流伝熱の関係は次式ようになる。

$$q_i A_c = h_{ai} (\theta_i - \theta_f) A_f + h_{ai} (\theta_i - \theta_w) A_w + h_{ai} (\theta_i - \theta_c) A_c \quad (3)$$

ここで、 A_f 、 A_w 、 A_c はそれぞれ床面積(m²)、壁面積(m²)、被覆材面積(m²)である。ただし(3)式では各面の温度は平均値で、対流熱伝達係数は各面で等しいと仮定している。

壁面の内張りアルミ箔が長波放射に対して完全反射性で、かつ壁面の断熱が完全であると仮定すると、この面では熱伝導と長波放射の射出・吸収が起らないから、ハウス内空気からの対流伝熱による熱補給も0で $\theta_i = \theta_w$ となる。よって(3)式は次式ようになる。

$$q_i A_c = h_{ai} (\theta_i - \theta_f) A_f + h_{ai} (\theta_i - \theta_c) A_c \quad (4)$$

ここで、

$$A_f / A_c = \beta_0 \quad (5)$$

とし、(5)式を(4)式に代入すると、

$$q_i = h_{ai} (\theta_i - \theta_f) \beta_0 + h_{ai} (\theta_i - \theta_c) \quad (6)$$

となり、この β_0 が対流伝熱に関し通常の温室の保温比(床面積/被覆面積)と同様な意義をもつ。また壁面が完全反射性ならば、床面からの長波放射はすべて被覆面に伝わり、その逆も成立するので、床面と被覆面との放射伝熱は次のようになる。

$$G_f A_f = J_c A_c \quad (7)$$

$$G_c A_c = J_f A_f \quad (8)$$

(5)式を用いて整理すると,

$$G_c - J_c = (J_f - G_f) \beta_o \quad (9)$$

ここで, G_f, G_c : 床面, 被覆面の単位面積当り放射量 ($\text{kcal m}^{-2} \text{hr}^{-1}$), J_f, J_c : 床面, 被覆面の単位面積当り入射量 ($\text{kcal m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)である。したがって放射伝熱に関しても β_o は保温比の役割をなしている。このように壁面を断熱した上, その内面を長波放射に対して完全反射性とする, 保温比については壁面を省いて(床面積/被覆面積)をとればよい。

壁面が床面と同等な射出・吸収率をもつ場合(アルミ箔がなく, あるいは強度のよごれのあるとき)は, (3)式で θ_f, θ_w の代りにその平均値 θ_s ($^{\circ}\text{C}$)を用い, かつ,

$$(A_f + A_w) / A_c = \beta_{oc} \quad (10)$$

とすると, (3)式は次式のようにになる。

$$q_i = h_{ai} (\theta_i - \theta_s) \beta_{oc} + h_{ai} (\theta_i - \theta_c) \quad (11)$$

このとき対流伝熱に関し β_{oc} が通常の温室の保温比と同等な意義をもつ。またこの場合放射伝熱は, 被覆面から床面と壁面を見る形態係数に依存する。被覆面, 床面, 壁面は閉曲面を形成しているから, 1 から被覆面の自己形態係数を差引いた値が形態係数 β_{or} である。よって放

射伝熱に関しては β_{or} が保温比と同等な意義をもっている。

本実験ハウスにおける以上の保温比の取扱いかから, 壁面の内張りアルミ箔が長波放射に対して完全反射性を有すると仮定した場合の保温比 $\beta_o = 0.9$ と, 壁面にアルミ箔がなくかつ壁面が床面と同等の射出・吸収率を有すると仮定した場合の対流保温比 $\beta_{oc} = 3.1$, 放射保温比 $\beta_{or} = 0.9$ をそれぞれ用いて, 立花(1980; 1981)の展開した温室熱貫流の数学モデルに従って熱貫流率を計算し, 実測値と比較した。Fig. 8 には水分付着のない晴天日の実測値の一例に対する計算結果を示す。なお長波放射に対する被覆材の射出・吸収率, 透過率, 反射率はPEの場合それぞれ0.1, 0.8, 0.1, PVCではそれぞれ0.7, 0.2, 0.1とし(皆川, 1980), ハウス内対流熱伝達係数は $4 \text{ kcal m}^{-2} \text{hr}^{-1} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ を仮定した。

アルミ箔は若干の汚れを伴い無視しえない射出率があるので, 実測した熱貫流率は2通りの保温比に基づく計算結果の中間にあろう。Fig. 8 は高温の場合を除くと, 以上の保温比の取扱いが可能であることを示している。なお温室の保温比と熱貫流との関係については続報で詳述する。

4. 結 語

PE, PVC一重被覆の実験ハウスで, 冬期夜間, 温風暖房時の熱貫流の測定を行い, 両被覆材の長波放射特性の差異による影響を調べ, 加温時における保温性の差を求めるとともに, 保温比の取扱いについて若干の検討を行った。得られた主要な結果は次のとおりである。

(1) 加温時の保温性を熱貫流比, 熱貫流率で表現すると, 長波放射透過率の大きいPEハウスはPVCハウスに比して保温性が低い, その差は内外気温差の増加とともに減少しPVCの保温上の有利性が低下する。またPEとPVCの貫流熱量の差は内外気温差によってあまり変化しない。

(2) 熱貫流率は内外気温差によって異なり, 気温差の大きなほど小となる。

(3) 曇天日は晴天日より熱貫流率が低く, 被覆材に水分を付着させた場合はさらに低くなる。その影響はPEの方が大である。

(4) 内外気温差の小なる場合は被覆面は外気から対流伝熱によって受熱し, 気温差が大となると逆に放熱に転ずる。この現象はPVC, さらに晴天日が著しい。

(5) 本実験に使用したような被覆面積が小さく, 他の面が凹面をなす特殊型温室(トレンチハウスなどは本実験ハウスに近い)では, 保温比として放射伝熱に対しては被覆面から(床面+壁面)を見る形態係数を, 対流伝熱に

Fig. 8. Comparison of the calculated values of the overall heat transfer coefficient (h_t) with the measured values with no condensation on a clear night, using two cases of the ratio of floor area to covering area; one $\beta_o = 0.9$, the other $\beta_{oc} = 3.1$ and $\beta_{or} = 0.9$. The weather factors; $\theta_o = 1.6 \sim 3.6$ ($^{\circ}\text{C}$), $V = 0.2 \sim 2.5$ (m s^{-1}), and $R_n = 0.13 \sim 0.14$ (ly min^{-1}).

対しては(床面積+壁面積)/被覆面積をそれぞれ用いなければならない。

謝 辞

本報文は著者のひとり皆川が東京大学修士論文として行った研究をもとにしている。御援助、御協力を賜った高倉 直教授をはじめ、東大農学部環境調節工学研究室の方々に厚く謝意を表する。また実験を行うに際し有益な御助言を賜った岡田益己博士(現、農業技術研究所)、ならびに多量の断熱材を提供していただいた新日鉄化学株式会社に感謝する次第である。

引用文献

- 1) Buclon, F., 1974: Evolution de la plasticulture dans le monde entre 1971 et 1973 prévisions pour 1975. *Plasticulture*, **24** (12), 52-67.
- 2) Hanson, K. J., 1963: The radiative effectiveness of plastic films for greenhouses. *J. Appl. Met.*, **2**, 793-797.
- 3) Horiguchi, I., 1978: The variation of heating load coefficient for a greenhouse and overall heat-transfer coefficient through plastic film. *J. Agr. Met.*, **33**, 175-181.
- 4) 三原義秋・林 真紀夫, 1979: 温室の保温に関する研究(1). カーテンの有無および種類と温室の

熱貫流率, 農業気象, **35**, 13-19.

- 5) 皆川秀夫, 1980: 温室の保温性に関する基礎的研究, 東京大学修士論文, 80 pp.
- 6) 農林省食品流通局野菜振興課, 1978: 園芸用ガラス室, ハウス等の設置状況, 日本施設園芸協会, 130 pp.
- 7) Okada, M. and Takakura, T., 1981: The heating load of greenhouses. (2) Heat transmission in the greenhouse with pipe heating systems. *J. Agr. Met.*, **37**, 211-219.
- 8) 杉山直義・高橋和彦・李 炳駟, 1967: フィルムの種類を異にしたトンネル内の温度条件に関する研究, 園学雑, **36**, 186-194.
- 9) 立花一雄, 1969: プラスチックハウスおよびトンネルの温度調節作用に関する研究(I). フィルムの長波特性と放射収支, 温度との関係, 農業気象, **25**, 79-85.
- 10) 立花一雄, 1974: プラスチックハウスおよびトンネルの温度調節作用 — フィルムの長波特性と夜間温度 —, 農水産分野における環境工学, 杉 二郎教授還暦記念事業会, 11-38.
- 11) 立花一雄, 1980: 温室の放射収支と熱収支 — 温室温度特性式の誘導 —, 農業気象, **36**, 25-35.
- 12) 立花一雄, 1981: 温室の伝熱マトリックスと暖房, 換気 — 温室温度特性式とその応用(1) —, 農業気象, **37**, 19-27.

Summary

Overall heat transfer of polyethylene film (PE) and polyvinyl chloride film (PVC) were measured in the experimental greenhouses with hot-air heaters on the clear and on the cloudy nights during the period Nov. 1979 to Jan. 1980. Both films are 0.1 mm thick and have different physical properties for long-wave radiation. The heat insulation efficiency of the greenhouses covered with PE and PVC single layer was investigated, and the ratio of floor area to covering area for the experimental greenhouses, which is one of the indices for the heat insulation efficiency of greenhouses, was also taken into consideration. The results are as follows:

1. Using the ratio of the overall heat transfer and the overall heat transfer coefficients for the heat insulation efficiency, the PE-house revealed to be less efficient than the PVC-house. This can be due to PE being more transparent to long-wave radiation than PVC. The advantage in the PVC-house, however, decreased with the increasing of the inside-outside air temperature difference (Figs. 3 and 5).

2. The overall heat transfer coefficients of both greenhouses depended on the inside-outside temperature difference. As the temperature difference increased, the overall heat transfer coefficients decreased (Fig. 5).

3. The overall heat transfer coefficients of both greenhouses were smaller on the cloudy nights than that on the clear nights. When the condensation occurred at the interior film surface, the heat insulation efficiency of both greenhouses was increased, resulting in the decrease of the coefficient. The efficiency of the PE-house was more affected than the PVC-house when the condensation occurred (Figs. 6 and 7).

4. When the inside-outside air temperature difference was small, convective heat transferred from the outside air to the outside cover surface. With an increase in the inside-outside air temperature difference, convective heat flow occurred from the outside cover surface to the outside air. This phenomenon was observed more clearly in the PVC-house, and more on the clear nights (Fig. 4).

5. The ratio of floor area to covering area for the particular type, such as those experimental greenhouses and trench houses, should be expressed as two different functions: One is the ratio for radiative heat transfer; the view factor of the covering area to the floor area and the wall area, the other is the ratio for convective heat transfer; (the floor area + the wall area)/the covering area.