

施設園芸に関する若干の工学的覚書 (第1報)*

宮地豊房・山崎堯右・松岡孝尚・池見隆男**

(農学部機械工学研究室, **農業機械学研究室)

Some Engineering Notes on Green House (I)

Toyofusa MIYADI, Takasuke YAMASAKI, Takahisa MATSUOKA
and Takao IKEMI**

(Laboratory of Mechanical Engineering, **Laboratory of Agricultural
Machinery, Faculty of Agriculture)

Most of the vinyl houses in Kochi Prefecture, have the house ridge of the north-south direction, the roof pitch of gentle slope and a large area. They are, consequently, worked on a very large scale. Hence, we studied on the penetration of ray into vinyl film. For it is greatly concerned with essentials of vinyl houses. Especially, the effect of the difference of wave lengths of ray and the incident angles, which are most important after the pollution of film, was investigated.

The results and conclusions of this test are summarized as follows:

- (1) The effect of incident angles can be calculated numerically from the apparent thickness, employing Rambert-Beer's Law.
- (2) The multiplex effect of film may be treated as the increase of the thickness. But it seems to need the introduction of surface resistance, because the penetrating ratio does not change with the true thickness of film (0.05~0.1 mm).
- (3) The north-south direction of house ridge and the greater roof pitch of vinyl house may be more profitable posture.
- (4) As for vinyl film, wave length of ray effects on the penetrating ratio, following the law of absorption approximately.

I. 高知県における現状について

1. まえがき

高知県におけるビニールハウスの総面積は 2000 ha に達し、これは県下の園芸面積の約25%にあたり、生産額においてはその大半を占め、なお増加の傾向にあるといわれる。このようにビニールハウスによる果菜類の栽培が常識と化した今日、これまで潜在していた種々の問題が喧伝されるようになった。

たとえば

- 熱収支 (主として、太陽光波長による)
- 光線不足 (主として、太陽光波長による)
- 構造・強度 (季節はずれの台風によるもの等を含め)
- 換気 (初夏まで栽培期間が延びることも生じている)
- 土壌消毒 (換地範囲が拡大しても、なお圃場不足のため)
- 耕うん整地 (多少の湿潤耕作地も使用され始めた)

などは問題の一部にすぎず、早急な検討が必要である。特に、最近ハウスの大規模化が進みつつあるが、連棟式大面積のハウスにおいて、作物の生育不揃い現象がみられるという。この原因がどこにあるか必ずしも明らかではないが、太陽光の受光が主因でないかとも考えられる。

* 昭和44年関西支部学会(鳥取)にて講演発表

そこで、我々は高知県下におけるビニールハウスの構造的、形態的実態を知るため若干の調査を行なったので、報告する。

なお本研究の一部は文部省科学研究費による事、また本研究の機会を与えられた東京大学農学部杉二郎教授、および各地調査に関しては高知県下山忠男技官外、園芸蚕糸課の諸官、中村地区農業改良普及所、各地区関係者多数の御協力によるものであることを記して謝意を表したい。

2. 高知県におけるビニールハウスの現状

(1) 沿革

一般に、ビニールハウスは油紙使用の片屋根式冷床温床より発達した一形態と考える場合と、ガラス室の簡便方式であるとする場合が考えられる。裏作利用が前者であり、恒久的施設として使用する場合は後者である。

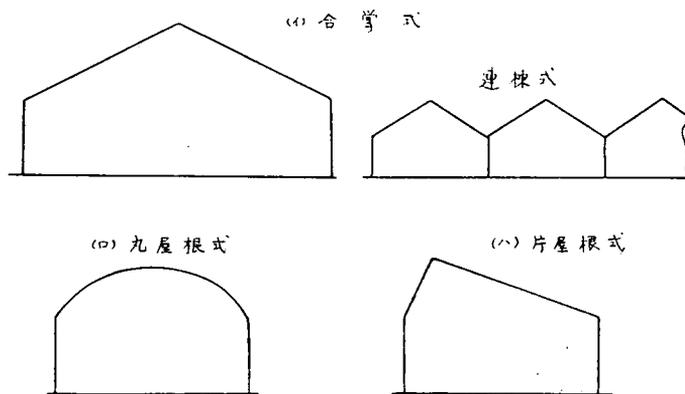
高知県においては、ほとんど前者の歴史的過程をたどっている。すなわち、大正末期より行なわれていた蔬・果菜類の促成育苗用冷床温床⁽¹⁾から、床土の下に踏みこまれた稲わらの醗酵熱を熱源として利用したふみこみ温床に、油障子と称するえごま油を塗布した和紙を被覆材とした、巾1.2～1.5mの東西方向に長い片屋根式がその発祥のようである。この時代においては、当地方の日照時間の長いことによる外気より高い室温、および地温を利用したもので、比較的光線を必要としない対象作物に利用された。光線透過率のよいガラス障子も一部使用されたが、経費の関係できわめて少なく、光線を必要とする花卉類の栽培にわずかに利用されたにすぎない。なお枠組みは竹、木材を骨材として、稲わらで四囲をかこむ方法が一般にとられ、まれにコンクリート、シッキイによる永久的な枠も使用された。また、加温熱源も前記の稲わら、米ぬかによる醗酵熱が大部分であったが、一部ニクロム線による電熱も小規模ながら使用された例もある。

やがて、促成程度が次第に高くなるにしたがって育成される作物も大となり、南北に長手方向をとった、巾2.5～3.0mの両屋根合掌式の形式が生まれた。床上高さも片屋根式の0.5m前後から、両屋根式の1mと高くなった。さらに育苗用の域を脱して、花卉栽培用の側壁にも油障子を使用した棟高さ約1.5mの形式も生まれた。

果菜類の温床内での収穫、丈の高い花卉の栽培が始まると、温床内での作業量が増大するとともに、保温上の有利さから温床巾が増大し、外部からの作業が困難となり、入室可能な高さを有する温床が要求されるに至った。

昭和27年、ビニールフィルムが農業用として使用され始め、その透光性、耐食性ととも一枚当

りの広大性が充分利用され、ハウス施設は爆発的に増大した。当時は、単に障子枠へビニールフィルムを張った、片屋根式の簡単なものであったが、昭和31～32年頃より、両屋根合掌式の今日のような大型のものが出現し、昭和39年には全県下に普及し、1000haを越えた。41～42年には、1500haとなり、その生産額は県下の園芸総生産の大半を占めると推定される。



第I-1図 ビニールハウスの形式

このように、ビニールフィルムの使用によって、ハウスの構造、特に骨組の構造、配置が次第に変化し、ビニール障子の小規模のものから、たるき長さ 1.8 m の素材を有効に利用した間口 3.4 m, 5.5 m, 7.5 m, 14.5 m およびこれらの連棟式、マンモス型と呼ばれる 30 m 以上のものにまで至っている。(第 I-1 図)

一方、屋根構造は合掌式その他、初期には割り竹を半楕円形に曲げて使用したいわゆる竹幌式(第 I-1 図(ロ))が作られたが、ビニールの固定方法および通気窓の取付け困難、さらに強度上の欠点のため姿を消しつつある。

骨組材としては木材がほとんどであるが、次第に鋼材(主として等辺山形鋼)が使用され始め、昭和43年度後期からトラス構造のものさえ使用される気運にある。

(2) 現 状

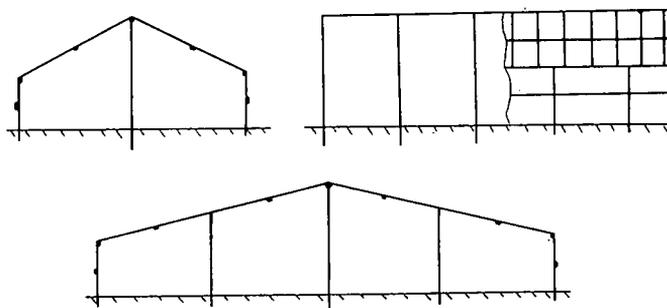
県下におけるハウスの現状を知るため、主として、構造、屋根勾配、棟方向および1棟あたりの面積について、調査した。なお、調査は片寄るのをできるだけ避けるため、各地区の代表的なものを選んで行なった。

(イ) 構 造

第 I-1 図(イ)に示すような合掌形式が、100%近くを占め、竹幌式といわれる丸屋根形式はきわめて少なく、初期に見られた片屋根形式は小規模な自家用栽培以外には皆無であった。

合掌式には単棟式と連棟式があり、間口が 10 m 以上のものにはマンモスという呼称がある。間口が相当長くとれる場合には、普通連棟式にしているようである。

骨組材は、一部アングル鋼材を使用するものもあるが、木材の使用が圧倒的である。通常、支柱材として末口直径 6~10 cm の丸材、屋根の斜材(タルキ)に 4.0 cm×5.5 cm 程度の角材、けたには 4.5×4.5 cm, または 5.5×5.5 cm の角材を使用している。支柱の間隔はハウス内部で長手方向に 2 m 前後、側壁で 1.5 m 前後である。内部の支柱列は間口長さによって異なり、間口 10 m 以下の小型では中央に主柱列のみであるが、マンモス級では主柱の他に中間柱を立てる。一例を第 I-2 図に示す。



第 I-2 図 合 掌 式 の 骨 組

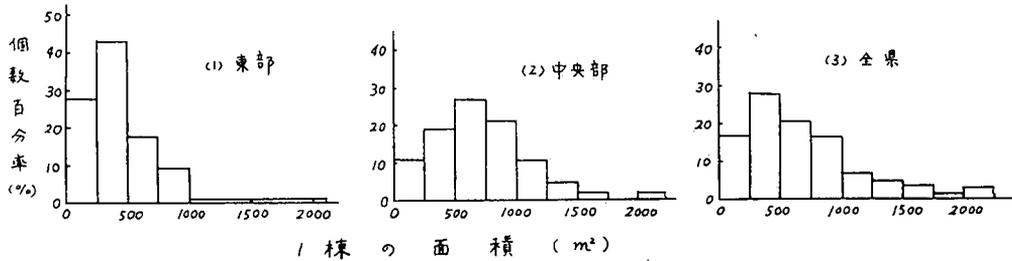
強度的には、概ね自重を支える程度で、各部材の結合部には特に補強はなく、風などの横荷重に弱いと考えられ、冬季季節風程度には耐えるものの、豆台風程度で倒壊の被害を生じている。

ビニールフィルムの被覆方法は、連棟、マンモス化により一単位の巨大化が進んで、夜間の防寒覆いが困難となり、ほとんどのハウスがフィルムの二重張りを実施している。すなわち、骨組材の表裏に固定二重張りとするものと、内張りをカーテン式に夜間のみ展張する方式があり、さらに作物体の小なる場合および植付直後の特に保温の必要な場合は二重ハウスの内部にビニールトンネルを作る形式さえとられている。

(四) 面積

一棟（連棟式も含む）の面積を地域別にみると、第I-3図のように、東部では300m²前後が多く、ほとんど単棟式であるが、中央部、西部になると500~900m²の範囲のものが大半を占め、マンモス、連棟式の大型ハウスが比較的多い。連棟式では23連棟にも達するものが見られた。

地域により多少の違いはあるが、全体の規模からみて、300m²以下および1000m²以上のものは比較的少なく、300~600m²の規模が普通のようなのである。

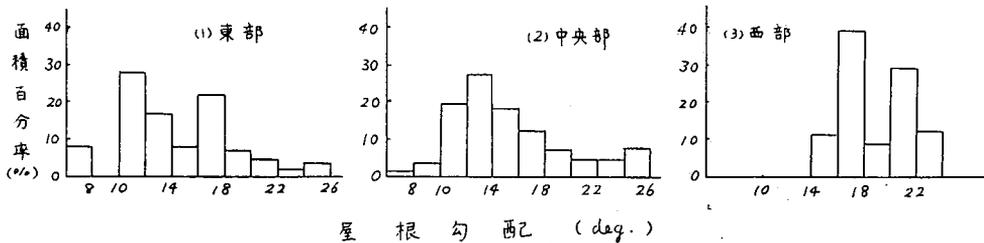


第I-3図

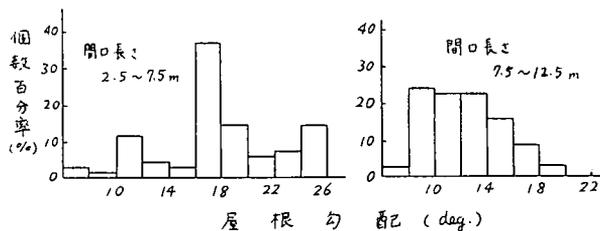
(五) 屋根勾配

東部および中央部においては、大部分が10°~20°の範囲にあるが、西部では15°~25°となり、勾配がやゝ急になっている。(第I-4図)

西部のビニールハウス地帯は海岸を離れた盆地に位置し、高知には珍しく冬期の積雪があり、また降雨量も大である。この地域では、こうした気象条件を考慮して屋根勾配を大きくしているようである。



第I-4図



第I-5図

しかし、一般には、太陽光線や気象などの条件によって屋根構造、特に勾配が決められているのではなく、単に素材長さの有効利用ということに意が払われているに過ぎない。このことは、第I-5図において見られるように、間口長さが長いほど傾斜が緩やかになる傾向からも

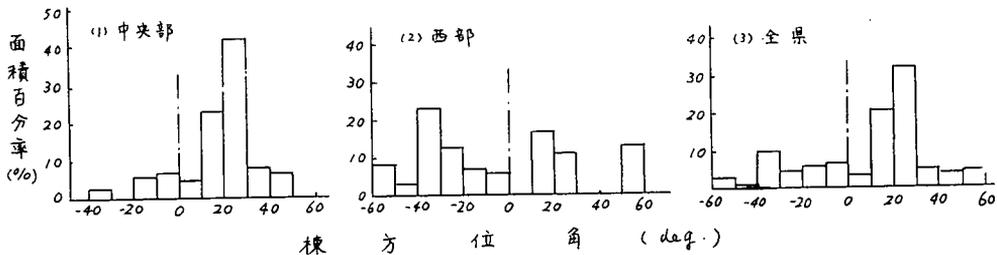
推定される。間口長さ20mの超大型では、屋根勾配がわずか5°という例もある。

(六) 棟方向

ハウスの棟の方向は屋根の勾配とともに、太陽光の受光効果を左右する因子と考えられるが、ほ

とんどのものが圃場姿に支配され、棟方向と区画の長手方向が一致している。

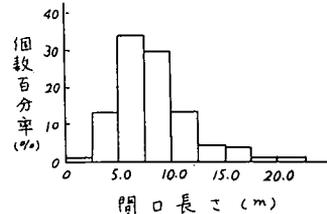
第I-6図は中央部および西部における、北を基準とする棟の方位の分布を示したものである。概して南北方向が多いが、西部では圃場姿の関係で一部東西方向に近いもの(±45°以上)も見られる。



第I-6図

(ホ) 間口長さ(梁行長さ)

第I-7図に示すように、5~10mのものが大半を占め、次いで10m以上のマンモス型が全体の20%程度あるが、5m以下の小型のものは比較的少ない。



第I-7図

3. むすび

調査の結果、高知県におけるハウスは、概略次のような現状である。

- (1) 木材を骨組構造とする合掌形式が一般的であり、いわゆる竹幌式は姿を消しつつある。
- (2) 一棟の規模は圃場区画の面積に左右され、間口長さ5.5m~7.5mで500㎡前後の一棟式が多い。
- (3) 屋根勾配は間口長さによって異なり、2.5~7.5mのもので15°前後、7.5~12.5mで12°前後である。
- (4) 棟方向としては、南北方向が圧倒的である。これは屋根勾配とともに太陽光線の受入工合、冬季の風向き、暴風雨時の風向きなどを考慮して決定すべきであろう。

ともかく本県の園芸農家においては収入の増大に伴ない現在の裏作利用のビニールハウスから、永久施設への意欲を持ち始める者も多く、現に中央部三里地区においてはほとんどガラス室の代替的意識を持っている。従って暖房機その他の投資意欲は極めて強くこれまでは、全く経験的に造られたハウスも、資材、労力の合理的使用のためにも今後は、工学的検討を必要とする面が多くなりつつある現状である。

II. ビニールハウスにおける放射線の透過について

1. まえがき

前述の如くビニールハウスの本質的な目的が空気の流動を遮断する事により、受け入れた熱を持ち去られないことにあるとすれば、我々は受け入れ熱量を出来る限り大きくすべきであり、かつ、

空気流動以外による熱の流亡を防がなくてはならない。後者については外気温度の降下時における熱伝達及び輻射がその最大のものであり、これに対する保温方法が取られている。すなわち菰葎い、フィルムの二重、三重張りがこれである。一方前者についてはビニールあるいはポリエチレンフィルムの長波長輻射線透過率のよいという特性が利用されて爆発的な普及を見るに至ったわけである。しかし後者については菰葎いという労働を軽減するための多重被覆は、前者との相克を来たし、その最適条件が追求されなくてはならない。又外気温度降下時における放熱関係も上と同様相反する条件となるわけである。

いずれにせよ受け入れ熱量を大とする最大の障害はフィルム面の汚染と考えられ、その源泉は泥土、塵垢、藻類、かび等が実存することが多く、一年の使用により極端な場合は40%近くの透過率低下をきたすことが報告されている⁽²⁾がいずれも洗滌、その他の方法により90%以上の回復が可能のようである。又フィルム自身の変質も考えられるがこれまた一年前後の使用では左程の影響はないことが同時に報告されている。したがって次に輻射線透過に影響を与えると思われるフィルム厚さ、特にフィルム面と輻射線方向とのなす角によりフィルム厚さが見かけ上増大する点を追求することとした。すなわちハウス屋根面の法線と輻射線方向のなす角度は時刻すなわち太陽位置によって変化し、また屋根勾配、棟方向により変化するものである。更に見かけ上の厚みの増大のみでなく上述の角度により反射による損失変化も考えられ、また作物の種類によっては一日の内のある時刻に大きな透過量が必要である場合も生ずる筈であり、その対策がこの角度の操作により可能であると考える。

したがって我々は上記角度について模型的にその変量を推定すると同時に実験室内でのフィルム面傾きによる透過率を実測し各場合における理論値との比較、さらに模型ハウスによる実測値も若干得てそれぞれに対応する値を得たので報告するものである。

なお夜間放熱に関しては屋根面の影響が大であるとはいえ、側壁の影響も無視出来ず又輻射損失よりもフィルム面を通しての伝達損失が大きいことが考えられ、屋根面積の縮少が効果あるものと考えているが本報告においてこの考慮は加えないこととした。

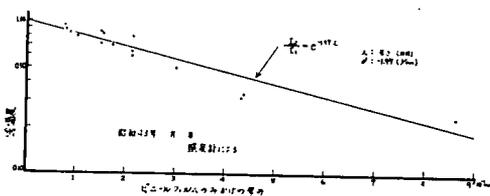
2. 輻射線透過に対する被覆材料の厚みの影響について

今、強度 I_1 なる輻射線が厚み f なる被覆材料を透過して I_2 なる強度となってハウス内に達するものとし、厚み方向に x を取ってフィルム内の任意の位置 x における輻射線の強度を I とすれば、

$$-dI = I \cdot \beta \cdot dx$$

但し、 β は被覆材料の単位厚み当りの吸収係数とする。したがって

$$\frac{I_2}{I_1} = e^{-\beta f} \dots\dots\dots (II-1)$$



第II-1図

故に今左辺の透過度とフィルム厚さ f を片対数方眼紙にプロットすれば直線関係になるべきである。我々のデーターの一部を第II-1図に示すがほぼ直線の近傍に分布している。すなわちランバートの法則である。

さらに波長の影響についてはビニールフィルムに関し、その透過率が各製作会社により

発表されているがM社によるものを第II-2図に示す。又我々が日立分光光度計により測定したのも併記したが縦軸には $\log I_2/I_1$ を、横軸に波長を、それぞれ対数目盛で表わしてある。同図において可視光線および相当範囲の赤外線領域において各点共にほぼ 45° 直線の近傍にあること

は λ で波長を表わすと次の関係式に近似出来ることを示している。

$$\log\left(-\log\frac{I_2}{I_1}\right) + \log\lambda = k'$$

$$\therefore \frac{I_2}{I_1} = e^{-\frac{k''}{\lambda}}$$

この形はII-1式と考えあわせると気体、溶液に適用されているランバート・ベールの法則にほぼ従うと予想される。

すなわち

$$\frac{I_2}{I_1} = e^{-\frac{2\pi k f}{\lambda}} \dots\dots\dots (II-2)$$

従って本報告において太陽光を対象とする場合は(II-1)式を、波長別の検討をする場合は(II-2)式に準拠することとし、厚み f はフィルムそのものの厚さ、多重の場合、および輻射線が斜入射する場合は、みかけ厚みとして実測値と計算値を比較検討するものである。

なお、梨地フィルムについては溶液又は大気中における混濁係数の概念が導入され得る可能性もあるが、数量的取扱いが困難なため今回は割愛することにした。

3. 輻射線の波長別透過率について

最近のハウス栽培、特に高知県の如き暖地においては前述の如く温度に対する要求は、暖房機の導入により殆ど満足すべき状態にあり、且つ経済的にもこの面に関しては経営者の納得出来る範囲内にある。ただ本県の如きは遠隔先進地域の悩みとして他地区生産物より良品質の生産物を得ようとする意欲が強く、さらに多肥栽培による単位面積当りの生産量増大の希望からハウス内の光線不足を訴える声が大い。本目的を集約すれば短波長の輻射線を求めることになり、紫外線の乏しい冬季、しかも被覆材は概して上記輻射線の透過率の低いことも併せ、この補光さえも考慮される現状にある。従って表題の研究に着手した。

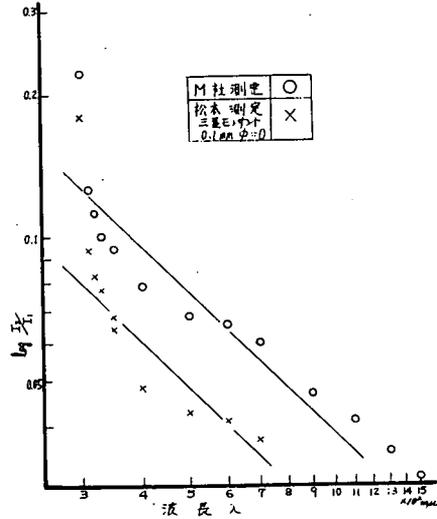
この点に関し、各製造者により発表されたものも多いがこれらはいずれも特定の厚みのもの、一重でしかも輻射線とフィルム面法線のなす角、 ϕ が 0° の場合の値である。本実験に於いてはこれらの値を若干変化させて透過率を求めた。

(1) 実験装置および方法

被覆材料の資料としてはM社製無滴ビニールフィルムの新品を用い、採取場所により厚みに若干の相違があるので測定により標準寸法0.1, 0.075, 0.05 mmの資料を採取した。測定器としては日立製分光光度計を用い、投光側のスリット幅を1 mmに固定して光量測定側を調整して零点法により透過度を測定した。資料表面にはフィルム長手方向に長い若干の凹凸があるため上の測定方法を取り、且つ資料もスリットの幅方向にフィルムの長手方向を取るようにした。これと直角方向の場合は極めて測定値のバラツキが大きい。

波長は300~400 m μ の間は密に、400~700 m μ までは100 m μ 間隔で測定し、途中、350 m μ に光源変更がある。資料の装着はフィルム面法線と光線方向のなす角を、 0° , 35° , 47° , 60° の四種とし、 0° の場合フィルムを1~4重として測定を行った。

同知の如く本測定装置は厚さ約15 mmの溶液層の透過率測定用であるため、本実験の如き固体



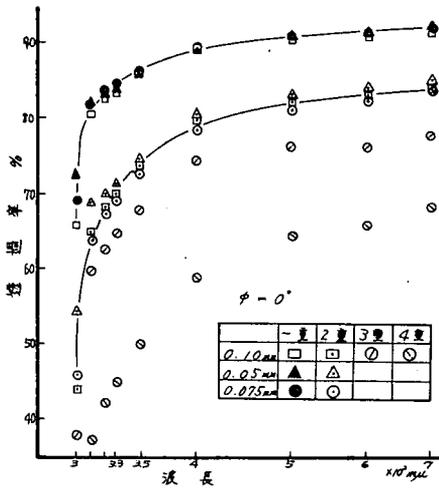
第II-2図

薄層への流用が多少危ぶまれ、事実後述の如き測定器の特性に帰すべきではないと思われるか
 ずかずのずれが生ずるが大勢的には差し支えないと考え、報告する次第である。なお参考のため厚さ
 約 1.56 mm の光学平行ガラスの透過率を一部測定したので付記する。

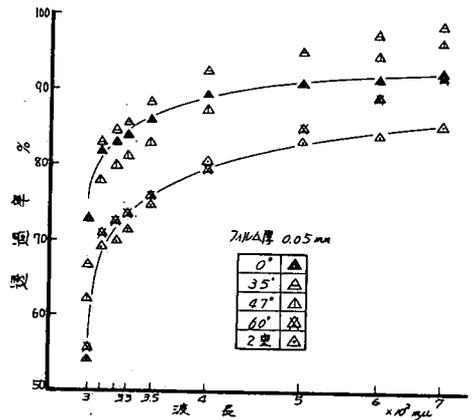
(2) 測定結果および考察

以下各図において横軸に波長をとったが長波長部分の冗長をさけるための対数目盛を用いること
 とした。縦軸は透過率（百分率）である。

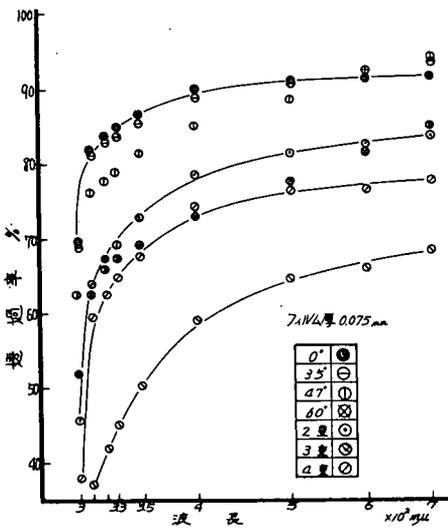
第II-3図は $\phi=0^\circ$ の場合、フィルム厚0.05, 0.075, 0.10 mm の一重, 二重および0.075の三
 重, 四重の波長別透過率を示す。この場合フィル



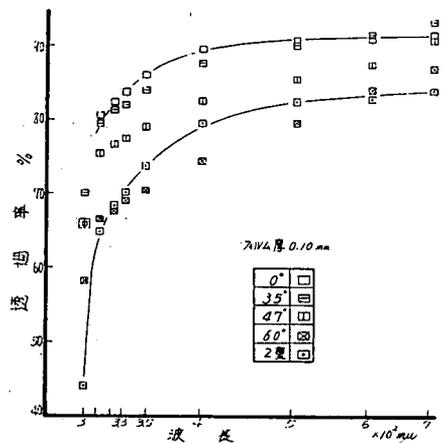
第II-3図



第II-4図



第II-5図



第II-6図

ム厚の影響は極めて小さく、既報されている傾向⁽³⁾と一致する。一重の場合は逆転さえしてい
 る。二重使用の場合でも約1%の差を生じているにすぎない。次に0.075 mmの場合の多重効果を
 みると四重になると透過率がやや急激に落ちており、短波長の方が特に低下量が著しい傾向にあ
 り、(II-2)式の傾向にあることを示している。

第II-4~6図はそれぞれ0.5 mm, 0.075 mm, 0.10 mmの厚みの場合の輻射線とフィルム面法
 線のなす角, ϕ を $35^\circ, 47^\circ, 60^\circ$ とした場合の透過率を示す。いずれの場合も輻射線が斜行する
 ため見掛け厚みの影響が現われている。フィルム本来の厚み(本実験の場合, 0.05, 0.075, 0.1

mm) の影響は現われなにかかわらず(第II-3図)この差の生ずることは被覆材そのものの内部を輻射線が通過することにより吸収される割合よりもむしろ表面効果的な因子の影響、例えば反射等が大きいことを暗示しているようにも考えられる。例えば第II-7図にフィルム内通過距離のそれぞれの等しいものをグループ別に示したがいずれの厚みの場合もそれぞれの間に差を生じている。従って本実験のような薄膜の透過率については(II-1)式の適用がこの点では危ぶまれる可能性もある。なお上記の影響程度も波長により異なり、短波長ほど減少量が大きい傾向にある。

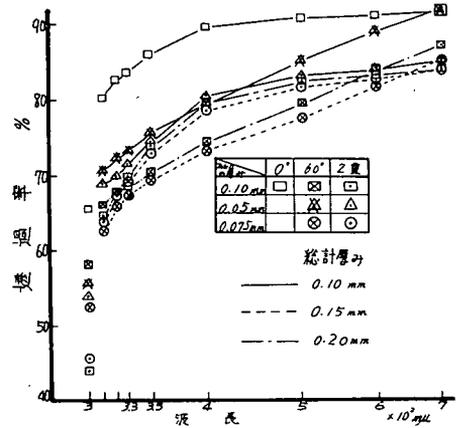
第II-8~10図は(1)式の原理に従ってフィルム見掛け厚み 0.075 mm $\phi=0^\circ$ の場合に換算した透過率をプロットしたものである。すなわち

E : 任意の厚み, 角度の場合の透過割合

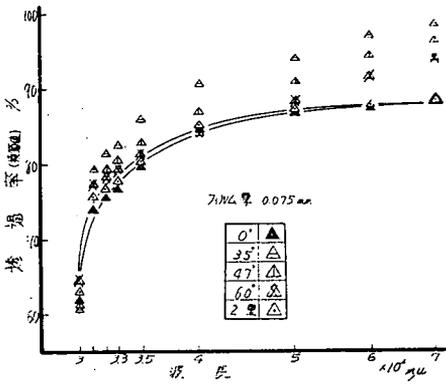
E_r : 上記換算透過割合

とすれば

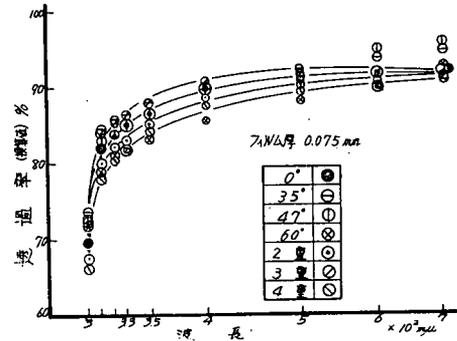
$$E_r = \exp \cdot \left(\frac{0.075}{f} \cos \phi \cdot \ln E \right) \dots \dots \dots (II-3)$$



第II-7図



第II-8図

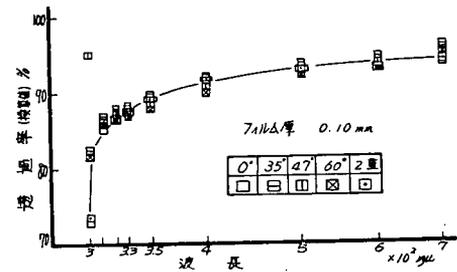


第II-9図

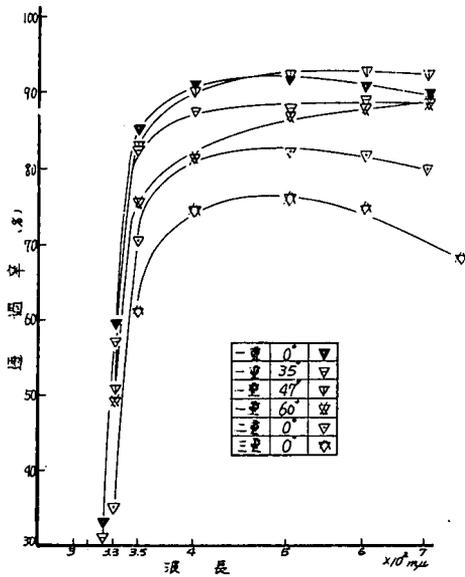
である。完全に(II-1)式の原理に従うものとするれば一つの曲線上に重なるはずであるがデータはある程度の開きがある。しかし、第II-4図と第II-8図、第II-5図と第II-9図、第II-6図と第II-10図を比較すればかなりの換算効果があり(曲線距離間が小さくなっている)第II-8~10図を比較して明らかな如く、フィルム厚が大きい程上述の開きが少なく(II-1)式に従うようになると判断される。

以上の結果より多少の差はあるが各波長の輻射線について被覆材の多重、または光線の斜交による見掛けの厚みの補正は(1)式で大差ないと考えられる。

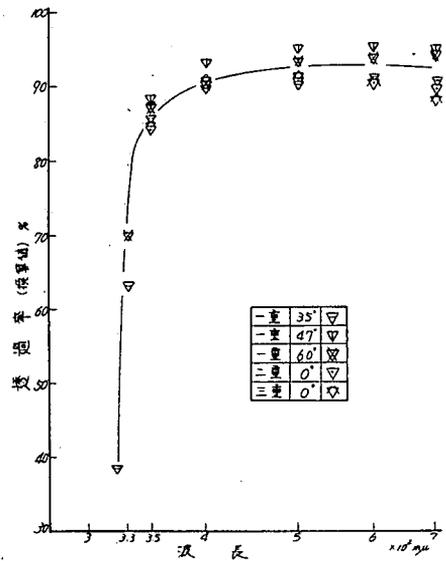
なお、1.56 mm厚光学平行ガラスの透過率を第II-11~12図に示す。可視波長部分では若干ビニ



第II-10図



第II-11図



第II-12図

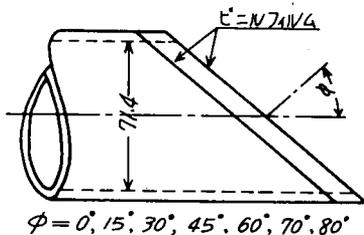
ールフィルムよりも透過率が高いが短波長、長波長域での低下が著しい。なお、第II-12図は1.56 mm一枚ガラスへの換算値であるが厚さの関係からか、かなり(II-1)式への順応性を示している。

4. 太陽光による透過率へのフィルム面傾きの影響について

後述の如く太陽高度、屋根勾配、棟方向により光線方向とフィルム面法線のなす角度、 ϕ は変化する。したがって各角度における補正は(II-1)式により大体行われ得ると考えるが薄膜故の疑問もあり実測したので報告する。ただ後述の如く、天空の散光、雲、太陽高度等可成りの不確定因子が多く⁽⁴⁾、我々は出来る限りこれらの除去には努めたが充分安定したデータは得難かった。

(1) 実験装置および方法

一般に輻射線の強さについては照度計と日射計が使用されており、それ等より得られる数値も太陽高度により異なる場合(地上塵の多少、雲の有無等)もあり、ほぼ一定の場合(快晴時)もあると報告されている⁽⁴⁾が、作物への影響はいずれの計器の値がどれだけの効果があるか判然としなかったので、本測定においては一応両計器を使用することとした。すなわちT社製光学電池照度計SPI-1 およびゴルチンスキー日射計を使用した。また受光面への散光を出来る限りさげ、且つ一定光束量をとらえるために内径 71.2 mm、肉厚 2.5 mm の灰色硬質ビニールパイプの先端を所要角度に切断したものを使用する。ビニールフィルムはM社製 0.075 mm 厚、ムテキ透明で、前記パイプの先端に貼布使用した。概略図を第II-13図に示す。



第II-13図

輻射線入射方向とフィルム面法線方向のなす角を ϕ とすれば

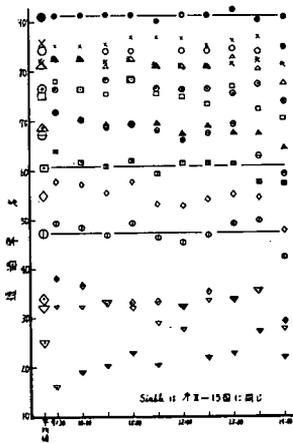
$$\phi = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ$$

の7種とし 0° の場合は1, 2, 3重まで、他の角度は1, 2重のみとし、フィルムを貼布しない円筒形と計16種類を準備した。なお、各円筒共に受光面中心で含む立体角を 0.01 steradian となるような長さとして各筒の光束量の均一に注意し、フィルム貼布前に一応

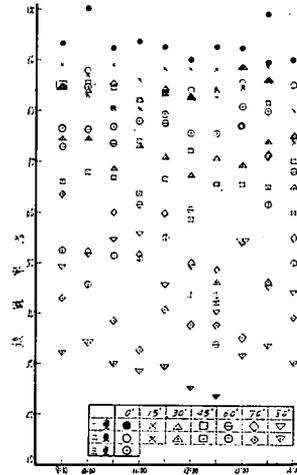
照度計により各円筒を付した場合の読みの一定値になることを確めた。また二重、三重張りの場合は一番外側のフィルム面において約 0.01 steradian になる筒長さである。

測定方法は計器受光面を太陽に正対するようにしたので一般使用方法とはやや異なる。実際、植物が利用する太陽エネルギーの総和としては当然受光面を水平にして測定をなすべきであり、ハウス内においても有効利用エネルギーはそうあるべきであるが本実験においては測定上誤差を少なくするために(輻射線が斜に当たることには後述のような疑問を生じたので)上の不自然な方法をとった。測定値は上の16種類の円筒を受光面外側に装着したものの外、筒なしの計17種類を記録した。照度計、日射計両方を測定するためには相当時間を要し、太陽光度の変化も無視出来なくなるので途中1回受光面方向を訂正するようにし、薄雲の影響も無視出来ないので一日中快晴の日のデータを発表することとする。実用上他の天候の場合も必要であるが雲量等、数値化への困難な因子(測定器具の箇数にもよる)が入るのをさけ、今回は基礎的なデータにとどめる。なお、日射計用ミリボルト計は、今少し感度の高いものを使用すべきであったとも反省している。(一般には無意味でも)。

(2) 実験結果および考察

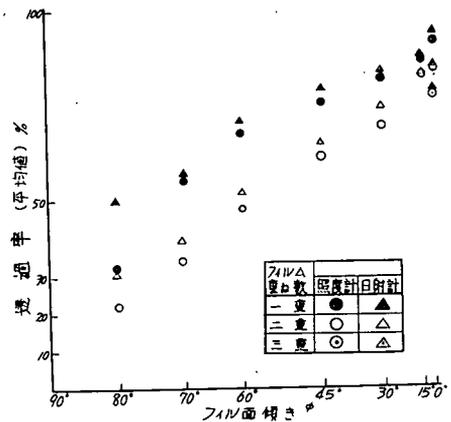


第II-14図



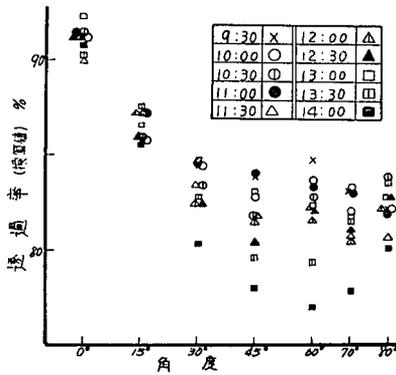
第II-15図

照度計による測定値の一例(開放にて照度62,000~74,000 lux, 日射量0.1~0.12 W/cm²の時)を第II-14図, 日射計によるものを第II-15図に示す。横軸は測定時刻, 縦軸は透過率である。 $\phi=70^\circ$ の2重, および 80° の1, 2重は膜面の安定が悪くやや測定値にバラツキが生じた。また日射計の12.30時のデータは小塊の薄雲のためやや疑わしいものとなっているが, それ以外かなり安定したものと考えている。今これらの各傾き, 一重, 二重別の平均値を示すと第II-16図となる。横軸は Cosine 目盛りを用い, ϕ を表わす。いずれの傾斜においても日射計の方がやや透過率が高く現れ, その度合いはフィルム面傾斜が大きい程大となり, 一重, 二重の差も同様にフィルム面が光線に直角に近い程差が小さい。いずれ

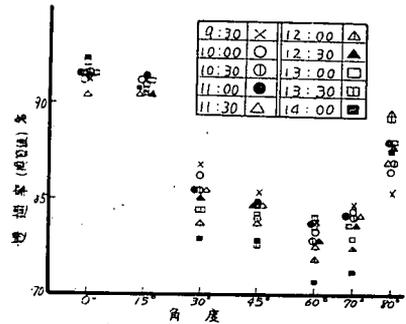


第II-16図

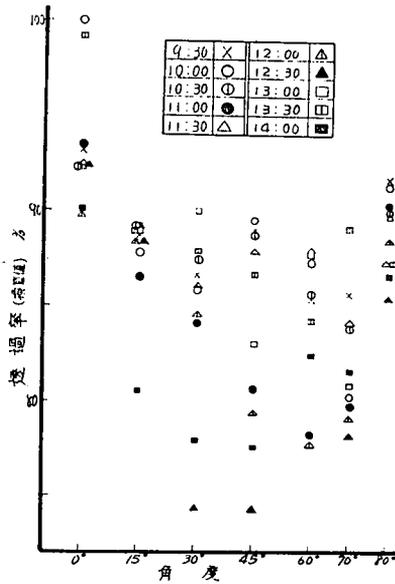
にせよ透過率は20~95%の間にわたっているので波長別の場合と同様(II-1)式に基づいて(II-3)式で換算した値を第II-17~20図に示す透過率が厳密に(II-1)式に従うものとすれば一本の水平直線になるべきであり、バラツキはかなり大きく10~15%の範囲にわたっている。しかし第II-14~15図に比較すればはるかに狭い範囲におさまっている。各図における14.00時、および日射時の12.30時のデータは前述の如き懸念はあるにせよ、波長別の場合から類推されるバラツキよりやや大きい。しかしその他にいつは一応の目安数値をこれらより得ることが出来ると考える。



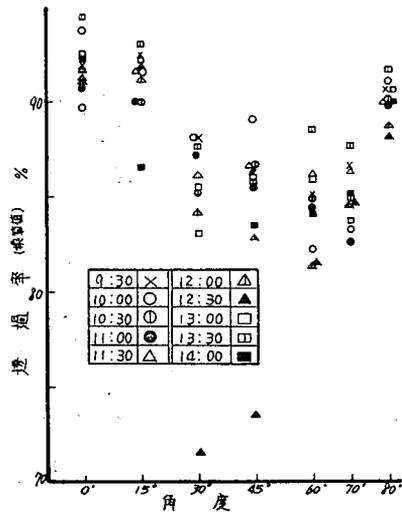
第II-17図 一重(照度計による)



第II-18図 二重(照度計による)



第II-19図 一重(日射計による)



第II-20図 二重(日射計による)

III. ビニールハウスの屋根フィルム面に対する太陽光線の方向について

1. まえがき

ビニールフィルムを透過してハウス内へ到達する輻射線の強さは、前述の如く入射角に影響される。以下、ハウス屋根斜面に対する太陽光線の入射角に影響を与える因子について検討する。

2. 入射角の表示

ハウス屋根のビニール面において、任意の部分を取り、これに対する入射光との関係を右手座標系によって表示すると、第III-1図 (a) のようになる。原点0は斜面上にあり、 x, y, z 軸はそれぞれ南北、東西、鉛直方向を示す。また、 \vec{SO} は太陽光の照射方向、 \vec{ON} はビニールフィルム斜面の法線方向を示す。ここにおいて、太陽光および法線方向の方向余弦を、それぞれ $(\lambda, \mu, \nu), (l, m, n)$ とすると、入射角 ϕ は次のように表わされる。

$$\phi = \cos^{-1}(l\lambda + m\mu + n\nu) \quad \dots\dots (III-1)$$

太陽光線 \vec{SO} の x, y 平面 (地面) への正射影が x 軸となす角を θ とすれば、

$$\mu = \lambda \tan \theta, \quad \nu = \sqrt{1 - \lambda^2 \sec^2 \theta}$$

であるから、(1) 式は次のようになる。

$$\phi = \cos^{-1}(l\lambda + m\lambda \tan \theta + n\sqrt{1 - \lambda^2 \sec^2 \theta}) \quad \dots\dots (III-2)$$

但し、 θ : 太陽の方位角

なお、太陽は原点0を頂点とする円錐等速運動を行なうと近似できれば、 $\lambda = \text{const.}$ となり、これはまた $\lambda = \cos \bar{\zeta}$ で表わされる。但し、 $\bar{\zeta}$ は太陽の南中高度である。また、 θ を時間 t の関数で表わせば次のようになる。

$$\theta = \tan^{-1}\left(\tan \bar{\zeta} \cos \frac{\pi}{t_0} t\right) \quad \dots\dots (III-3)$$

但し、 t_0 は日照時間である。

3. 屋根勾配および方位に対する入射角

第III-1図 (b) において屋根勾配を α, β 、南基準の方位角を γ とすれば、屋根両斜面の法線 N_1, N_2 の方向余弦 $(l_1, m_1, n_1), (l_2, m_2, n_2)$ は次のように表わされる。

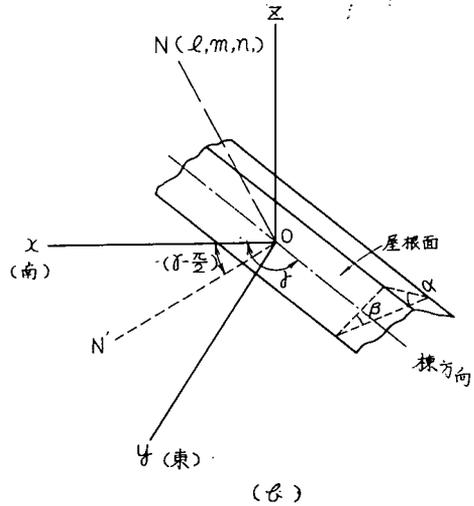
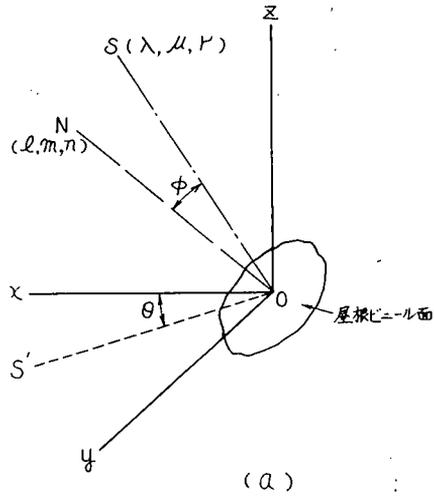
$$\begin{cases} l_1 = \sin \alpha \sin \gamma \\ m_1 = -\sin \alpha \cos \gamma \\ n_1 = \cos \alpha \end{cases} \quad \begin{cases} l_2 = -\sin \beta \sin \gamma \\ m_2 = \sin \beta \cos \gamma \\ n_2 = \cos \beta \end{cases}$$

また、 $\lambda = \text{const.} = \cos \bar{\zeta}$ とすれば (III-2) 式は次のように変形できる。

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \cos^{-1}(\cos \bar{\zeta} \sin \alpha \sin \gamma - \cos \bar{\zeta} \sin \alpha \cos \gamma \tan \theta + \cos \alpha \sqrt{1 - \cos^2 \bar{\zeta} \sec^2 \theta}) \\ \phi_2 &= \cos^{-1}(-\cos \bar{\zeta} \sin \beta \sin \gamma + \cos \bar{\zeta} \sin \beta \cos \gamma \tan \theta + \cos \beta \sqrt{1 - \cos^2 \bar{\zeta} \sec^2 \theta}) \end{aligned} \quad \dots\dots (III-4)$$

但し ϕ_1 : 勾配 α なる斜面における入射角

ϕ_2 : 勾配 β なる斜面における入射角



第III-1図

結局、 ϕ は屋根勾配 $\alpha(\beta)$ 、棟方向 γ 、太陽南中高度 $\bar{\zeta}$ をパラメータとする θ の関数と考えることができる。

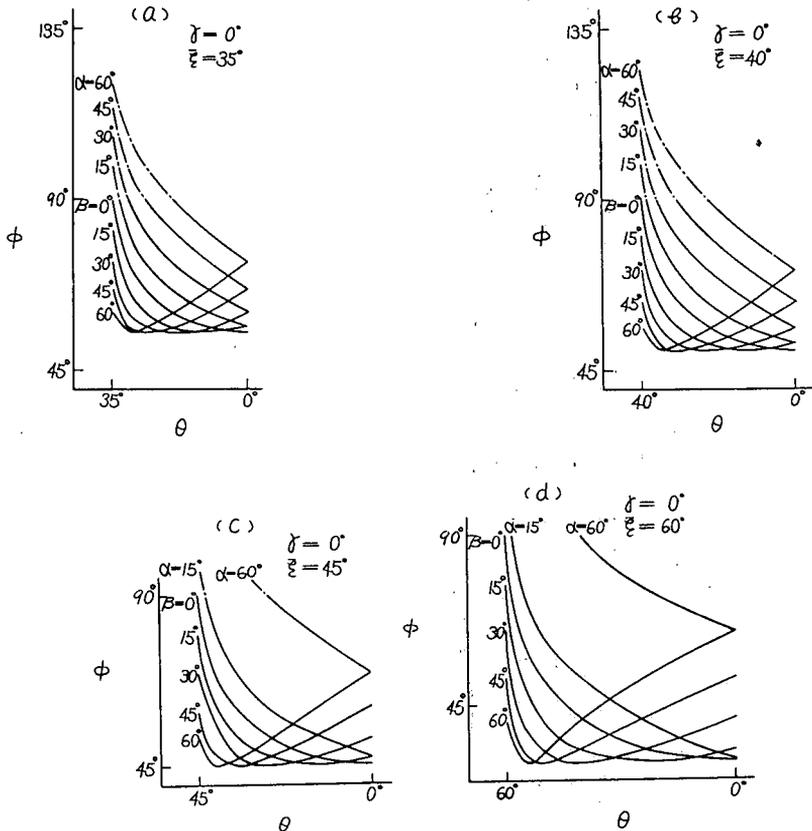
第Ⅲ-2図～第Ⅲ-4図は $\alpha(=\beta)$ 、 γ 、 $\bar{\zeta}$ をパラメータとして、(3)式における太陽方位角と入射角の関係を図示したものである。

第Ⅲ-2図は、棟方向を南北 ($\gamma=0$) とする屋根について、入射角の変化を示したものであるが、勾配 $\alpha(\beta)$ が小さいほど太陽の方位角 θ による変動が少なく、また入射角も小さいことがわかる。入射角の変化は、屋根の傾斜方向によって異なり、 $\theta=0$ を境に対称となる。東側斜面では、日の出付近で入射角は小さいが、 θ の減少につれて急激に増大し、日の入付近では α の大なるものは $\phi > 90^\circ$ となって、最早光を受けない。西側斜面は全くこの逆の傾向となる。

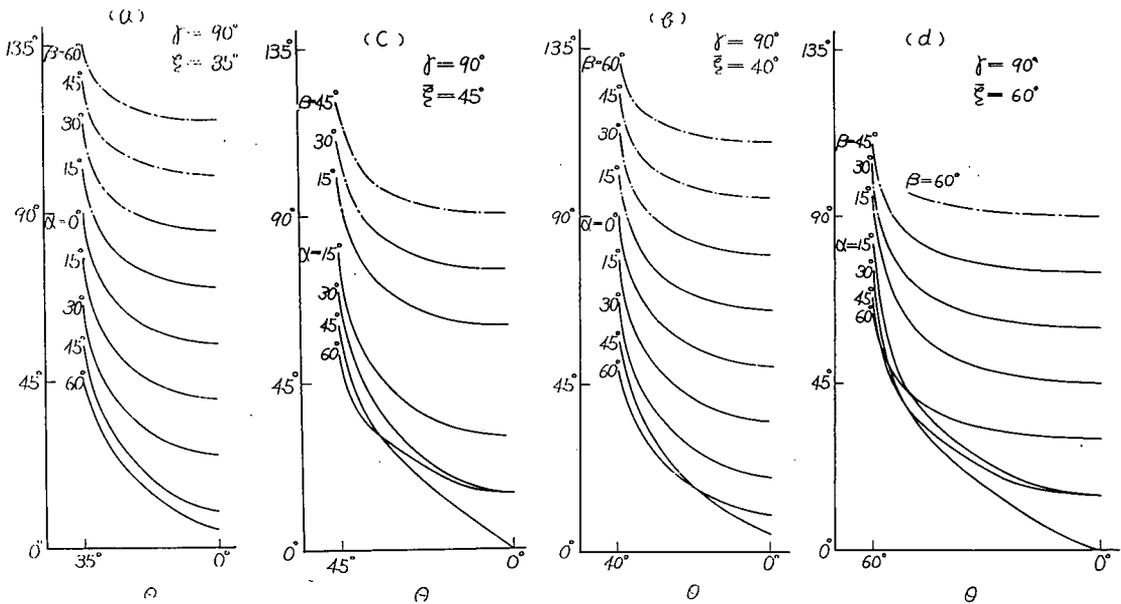
$\alpha=0^\circ$ すなわち平坦な屋根の場合には、ほぼ一樣な入射角となり、値も小さい。結局、南北棟の屋根では、午前中は東側斜面より大部分受光し、午後は主として西側斜面において受光する形となる。

棟方向が東西方向 ($\gamma=90^\circ$) の場合には、第Ⅲ-3図に示すように、南側斜面においては、勾配が大きいほど入射角は小さいが、日の出および日の入付近と南中時 ($\theta=0$) とでは相当の差がある。北側斜面では逆に勾配が小さいほど ϕ は小さくなるが、南側とは比較にならないほど大きく、 $\alpha > 30^\circ$ では $\phi > 90^\circ$ となり、ほとんど光の入射はない。つまり東西方向棟では、屋根の北斜面は屋根勾配を大きくすると日光の屋内透過にほとんど関与しないことになる。これが東西棟の連棟をさまたげる主因ではあるまいか。

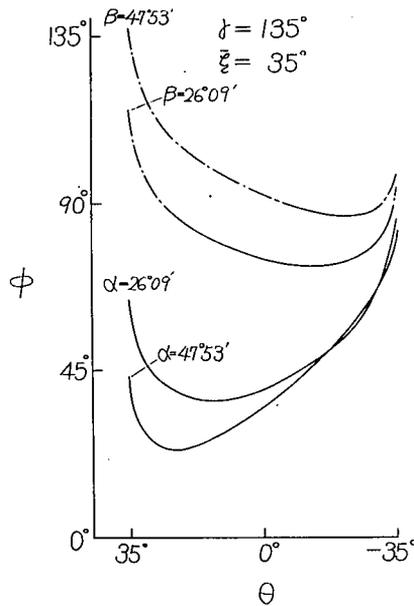
また、第Ⅲ-4図は北東 45° または南西 45° ($\gamma=135^\circ$ or -45°) に棟方向をとった場合である



第Ⅲ-2図



第三-3図

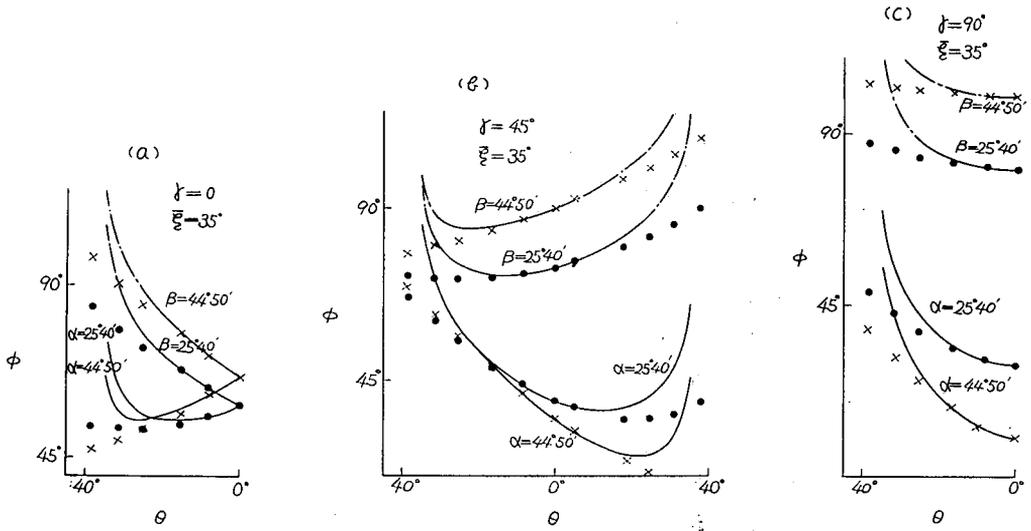


第三-4図

が、この場合、午前中はかなり ϕ は小さい。北側斜面は午前中はほとんど受光せず、午後場合により僅かに受光する程度である。 $\gamma=45^\circ$ または -135° については図示していないが、この逆の形となる。

さらに、棟方向が北より ($\gamma > 135^\circ$)、または南より ($\gamma < 45^\circ$) となると、それぞれ南北型または東西型に近い型となる。

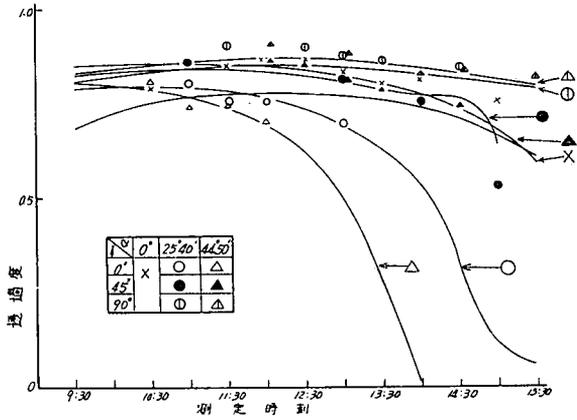
なお、第三-5図は太陽方位および同高度の実測値より計算した太陽光入射角 ϕ の値を太陽が円錐軌跡を画くという仮定による理論値に対しプロットした一例である。



第III-5図

4. 模型ハウスによる透過光の実測結果について

間口を約 1/10 に縮小した模型ハウスを作り 0.075 mm 厚ビニールを張った。屋根勾配は $44^{\circ}50'$, $25^{\circ}40'$, 0° の 3 種として棟方向は南北, 東西および中間の 45° としてその屋根を通しての光の強さを測定した。この場合照度計, および日射計の受光面は通常測定と同様に水平とした。まず測定時刻における太陽の高度および方位角を測定してこの値を式 (III-2) に屋根勾配, 棟方向と共に代入して $\cos \phi$ を求め, 式 (II-1) の $\beta=1.97$ (数値については後述) として求めた透過度をプロットして第III-6図の曲線を得る。



第III-6図

$\gamma=0^{\circ}$ とは南北, 90° は東西であるが南北の場合一方の屋根面からは夕方殆ど受光しなくなる。又屋根勾配については小さい程単位面積当りは多く取り入れられることとなる。

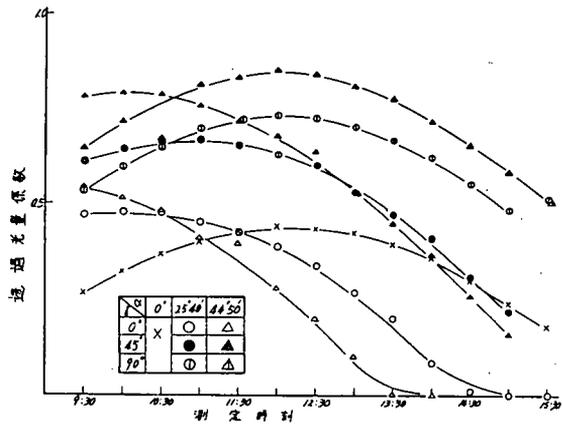
同図に示してある各点は前記模型ハウスにおける照度計による実測値で狭い範囲では可成り計算値による曲線と一致している。ただ水平屋根の場合, 曲線は似ているが約10%実測値が大きく出ている。この理由については今の所不明である。

次に上の透過度は透過光束の直角断面, 単位面積当りの透過量に比例する値である。従って屋根フィルム面単位面積当りの係数を求めるためには $\cos \phi$ を乗ずる必要がある。すなわち縦軸に $I_2/I_1 \cdot \cos \phi$ の値を, 横軸に測定時刻をとったものを第III-7図に示す。各種の仮定を設けた結果であり, 且つ受光面を水平としたため太陽高度の補正が必要となるが第III-7図はこれを行ってない。従って各時刻間の比較は厳密には行えないが, 同時刻における各棟方向および屋根勾配間の比較のため透過光量係数 (屋根単位面積当りの透過光量に比例する係数) を示したものである。

棟方向は東西方向が一般に透過光量多く時刻別の差も少ないようである。南北方向は反対側屋根面を考慮しても透過光量少なく、且地上における受光むらを生じやすい欠点が想像される。東南方向については上の兩者の中間で、時刻別の差がかなり大と思われる。

屋根勾配については測定種類が少ないため確言は出来ないが大なる程有利と考えられる。但し南北、東南方向ではある時刻にこれの逆転が起り、勾配の小なる程一日中の透過光量が平均する傾向が認められる。

以上を総合すれば比較的受光量の少ない高緯度地方において東西棟方向が採用され、降雪の条件も加わって屋根を急勾配としていることも首肯される。



第三-7 図

IV. 輻射線透過に関する疑問点およびむすび

以上、各種の数値並びに類推方法について述べたが、これ等はいずれも実用上差し支えないと考えた近似を行ったものが多く、厳密な検討を加えると、2、3の疑問点が存在する。これ等についての研究は充分、適当な資材が市販品では得られないことと本研究本来の目的から逸脱する恐れもあると考えて深く追求せず以下疑問点として指摘するにとどめ、その解明は他日に譲りたい。

1. ランバート・ベールの法則の薄膜への適用について

第II-1図において透過度とフィルム厚みの関係を半対数目盛で示し、その直線性によりこの法則の適用を仮定した。このフィルム厚みは副射線が薄膜を斜めに通る時の見かけ光路程をとったもので図に示した如く0.075~0.9 mmの範囲である。なお同じ条件の他のデータも第IV-1~2図に示すが原点を通ることには疑問を残すもののいずれも次に示す直線近傍にデータは分布していると考えられ、点の重なりがはげしいので3図に分けて示す。これ等3図より(II-1)式中の太陽光に対する吸収係数βの概略値を求めると

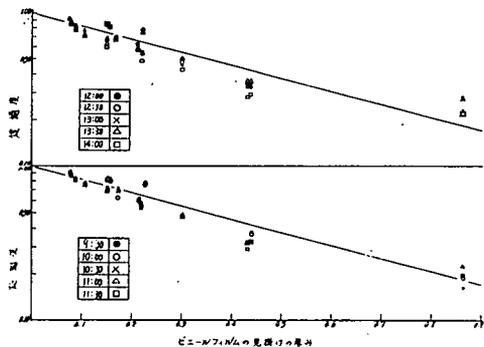
$$\beta = 1.97 \text{ (1/mm)}$$

したがって(II-1)式は

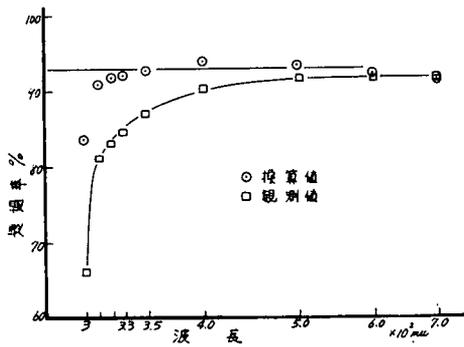
$$\frac{I_2}{I_1} = e^{-1.97 \cdot f} \dots\dots (IV-1)$$

となる。但しfはmmであらわす。

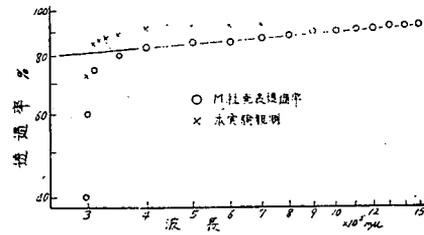
次に式(II-2)による波長と透過度との関係であるが第II-2図に示す如く定性的にその傾向を示してはいるが、厳密には短波長および長波長領域では、やはり直線からのずれを生じ、いずれも透過度の低い方にずれている。その一例をフィルム厚0.1 mm φ=0°の場合を第IV-3図に示す。換算値は水平直線になるべきものである。なお第IV-4図はM社発表、および本実験による観測値の一例を縦軸に透過率、横軸に波長をそれぞれ対数目盛りでプロットしたものである。理論



第IV-1~2 図



第IV-3図 0.1mm厚, φ=0°の波長に関する換算値



第IV-4図

の根拠はないながら、よく直線を保っていると見られ、M社データより透過度と波長の関係を示す実験式を求めると波長のべき関数で

$$\frac{I_2}{I_1} (\%) = 80 \left(\frac{\lambda}{250} \right)^{0.084} \quad \lambda = \text{波長 } \mu\text{m}$$

となり、可視波長以上では比較的適合性が認められる。

2. 表面抵抗の概念導入について

第II-7図の説明で一部ふれたように輻射線の同じ透過距離でもその中間の空気層の有無や入射角により透過度は異なる。すなわち同図において実線で結んだ点はいずれも総計光路程 0.1 mm のものであるが短波長においては 0.05 mm フィルム 2 枚合せのものと 60° 入射のそれが似ているが長波長領域では後者と 0.1 mm の 1 枚のものが近づき 2 枚合せのものはかけはなれている。さらに換算数値により 検討すれば II-8~10 図において同じ厚さの二重ものと一重ものは比較的よく一致するが斜投射の場合は若干ずれる。しかしこのずれはフィルムの実際厚が大となる程小さくなる傾向にある。しかしともかく第II-7図において光路程 0.1 mm の 2 重ものと 1 重もの相違はフィルム表面に透過抵抗的なものがあることを暗示しているものと思われる。この表面抵抗の如きものをフィルム厚みに換算した見掛け厚み h (mm) を試算してみる。式 (II-2) の両辺の対数をとると

$$\log \frac{I_2}{I_1} = - \frac{2\pi k}{\lambda} f \cdot \log e$$

$$2\pi k \cdot \log e \equiv K$$

フィルムの真の厚みを x mm とすれば

$$-\lambda \log \frac{I_2}{I_1} = K (x + 2h)$$

今 0.1 mm 一重, φ=0°, 0.05 mm 一重, φ=0°, 0.05 mm 二重, φ=0° の各データより第IV-1表を作り, その平均値より K および h を求めると

$$K \equiv 16 \quad h \equiv 0.66 \text{ mm}$$

を得る。これによれば 0.05~0.1 mm 厚程度のフィルム透過率は前述の如く差を生じないことも説明出来る。勿論この

第IV-1表

λ (μm)	$\lambda(0.1+2A)$ $-\lambda \log \frac{I_2}{I_1}$	$\lambda(0.05+2A)$ $-\lambda \log \frac{I_2}{I_1}$	$2\lambda(0.05+2A)$ $-\lambda \log \frac{I_2}{I_1}$
3.10	29.05	27.03	41.11
3.20	26.40	25.89	49.38
3.30	25.51	25.15	47.88
3.50	23.10	23.10	44.25
4.00	19.28	19.61	37.68
5.00	21.20	20.50	39.95
6.00	24.00	23.16	45.12
7.00	26.31	24.30	48.72
平均値	24.70	23.60	45.48

数値は少ないデータから試算したものであり、あるオーダを暗示しているにすぎない。なお輻射線がフィルム面に斜入射した場合この h は普通の厚みと同じように見掛け厚みの増大の形をとるようで、その基本的理由はフィルム自体の厚みの見掛け上の増大と異なるが数値的には大差なく計算出来、大略ランバート・ベールの法則に従う形となる。

3. 斜入射の場合の一部透過率が直角入射より高くなることについて

本現象は原理的に起り得ない筈であるが、フィルム厚み 0.05 mm の場合第Ⅱ-4 図に示すように $\phi=35^\circ$ の透過率が $\phi=0^\circ$ のそれより僅かながら大きい。この傾向はフィルム厚みが増すに従って小さくはなるが説明困難である。フィルム表面の凹凸によるかとフィルム断面を検鏡したが、これを説明づける凹凸は発見出来ず、また太陽光の場合(第Ⅱ-16図)も認められず、ただガラスの場合第Ⅱ-11図に示すように 47° のものが若干その傾向が現われているがこれはデータ数少なく不確かである。何れにしろこの理由は解明出来なかった。

4. むすび

生活文化の向上に伴い、食生活の豊さも要求される現在、量的にはその大半を荷なっているハウス園芸の一助として本研究を始めたものであるが、実用への実質効果としては不充分なものとなった。頭書したようにハウス栽培はその経過から見て、明確な工学的検討のされた履歴はないに拘らず、意外に合理的な方法が行われているのは農民の長年の知恵というべきであろう。しかしながらその歴史も次第に積み重ねられるにつれ、細部にわたる対策、互に矛盾する要求の妥協点、さらに根本目的にまでさかのぼっての考察さえも要求される時点に達していると考え、今後一連の問題追求を始めることとした。

本報告においては本文でも述べたように太陽エネルギーをハウス内に取り入れる際最も障害になるフィルム汚染の問題はビニールその他被覆材の耐蝕性の大きなることを利用して簡単な洗滌によりさけることが出来ると考え、その次に障害となり得る光線の斜入射の問題をとり上げた。結論として、短波長領域の透過率は予想通り低く、長波長領域は有効に利用され得る。また輻射線斜入射に関しては原理的には疑問をのこすものの実用フィルムの厚さ程度ではランバート・ベールの法則により計算されたもので数値的には大差ない。ただフィルム自体の厚みに関してはこの法則は適用されず、実用フィルム厚程度では透過率に厚みの影響は出ない。これはフィルムの表面抵抗的なものの数値がフィルム自体中の抵抗に比し大きいことの表れではないかと推測した。

棟方向、屋根勾配による斜入射の影響の差は左程大きくはないが圃場姿勢、構造条件のまゝに決定することにはやゝ疑問があり、特にある特定の時刻において短波長或いは熱線を必要とする作物に対しては相当の考慮を払う必要があると考える。

本研究に際し貴重な御教示ならびに便宜を与えられた本学部門田教授、示野助教授、また永年にわたる観測測定データ処理に関し多大の協力を頂いた本学技官森田南海男君、教室員松本美紀君に対し謝意を表したい。

参 考 文 献

- (1) 農政調査委員会 日本の農学—遠隔園芸産地の形成
- (2) 養原善和外 4 名 農電研究所報告 65013 (昭和40年 6 月) ビニールハウス、トンネル内における光量、光質の実態および光線透過と果菜、育苗に関する考察(第2報)
- (3) 同上 (第1報)
- (4) 三原義秋 農学気象 地人書店 p. 5

