ヨーロッパにおける環境調節及び施設園芸 (1)

誌名	農業氣象
ISSN	00218588
著者名	高倉,直
発行元	養賢堂
巻/号	29巻4号
掲載ページ	p. 249-254
発行年月	1974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

海外研究紹介

ヨーロッパにおける環境調節及び施設園芸 (1)

高倉 直
(千葉大学園芸学部 千葉県松戸市戸定648)

Studies of Environment Control and Greenhouse Cultivation in Europe

Tadashi TAKAKURA
(Chiba University, College of Horticulture, Matsudo, Tojo 648, Chiba, 〒 271)

1. はじめに

過去何人かの会員がヨーロッパあるいはオランダにおける農業研究に関して報告しているが，今回筆者もオランダに6ヶ月たらず滞在する機会をえ，この間かねてより関心を持っていた隣国にある2，3の研究機関及び国際学会へ参加したので，以前の報告と重複しない範囲でこれらについて述べてみたいと思う。

筆者が主に滞在し，研究を行ったのは Wageningen (ヴァーヘニンゲン) にある Department of Theoretical Production Ecology[1] (国立農業大学の1学科で，DE WIT 教授が学科長) と Institute for Biological and Chemical Research on Field Crops and Herbage (IBS, T. ALBERDA 所長) である。同じ町にある2つの研究所 Institute of Horticultural Engineering (ITT, E. COOLMAN 所長), 及び Centre for Plant Physiological Research (CPO, P. GAASTRA 所長) も非常に関係の深い所で，文献調査，討論のためにしばしば訪れた。

東大の立花一雄助教授が来られたのを機会に，オランダの2大温室地帯である Naaldwijk (ナールドウヴィック) と Aalsmeer (アルスミア) を見学し，そこにある試験場 Glasshouse Crops Research and Experiment Station 及び Research Station for Floriculture も訪問した。さらにドイツでは温室研究として歴史の古い Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft (Hannover 工科大学) 及びベルギーの Faculté des Sciences Agronominques de L′ État Gembloux (農業大学) に Nisen 教授を尋ねた。これは Gembloux に近い Namur で第7回国際サイバネティクス学会があり，それに出席しての帰りであった。

7月に Paris で開催された学会，人類に奉仕する太陽には当初出席を予定していたが，パスポートの手続きが遅れたために出席できなかったが，9月に Aachen での国際農業工学会 (CIGR) 主催のシンポジウム，農業工学と環境問題，さらに Silsoe での国際園芸学会主催のシンポジウム，温室の設計と環境調節に出席した。後者においては，その会場となった National College of Agricultural Engineering の施設・装置，道をへだてて前にある National Institute of Agricultural Engineering (NIAE)，さらに Lee Valley Experimental Horticulture Station をも見学した。

したがって，表題にヨーロッパと書いたけれども，オランダ，ドイツ，ベルギー，英国の一部であることをことわらなければならない。

オランダの IBS 及び ITT に関しては，現在それぞれに留学中の堀江武 (農技研)，岡田益巳 (東大) 両氏の報告が学会誌に掲載されるものもそう遠くはないものと思う。

2. ヨーロッパへの旅[2-6]

以前米国に滞在した経験から，家族づれの海外出張に慣れたつもりであったのが，出発前，家族の Visa がなかなか取れず，私のみ一足先に出発せざるをえなかった。事情は米国の場合とかなり異なるのはあたりまえで，それに気づかなかった私の失敗である。家族の Visa が取れたのは私が羽田で飛行機へ搭乗する直前でありどうすることもできなかったが，最後まで私達をいっしょに旅行させようと努力してくれた在日オランダ大使館の方々の気持はありがたかった。

オランダの場合3ケ月以上滞在する場合に Visa が必要である。Visa が Passport と大きく異なる点は，これは与える側の特権であり，こちらから権利として要求できるものではないことである。Visa を許可する基準がどのようなところにあるかは知るよしもないが，堀江氏がやはり同じ問題で困った時，このことが Coffee Break の話題になり，オランダはケチな国だから，訪問者がオランダに滞在し，帰国できるに十分な経済的裏付けを持っているかどうかを十分調べてからでないと許可しないのだろうし，米国の場合は思想調査はあったけれども，お金の話は何もなかったようだというのが，私，GOUDRIAN, VAN KEUREN の結論であった。

ソ連航空のイルューシン62型機で羽田を正午近くに発ち Moscow 経由で Copenhagen へ向った。この飛行機は見かけはあまり大きくなく，いわゆる中型機かもしれないが，性能の良さを示すかのように，飛行は大変快適であった。ただ Moscow 空港の異様な雰囲気，飛行機からいったん降りるのに軍人による規制で一度に4～5人づつしか降させず順序もギリシャ正教の牧師，外交官，一般人とはっきり区別され，空港の建物の内部の写真をとろうとすると近くにいた軍人があわててこれをさえぎるなど，これもお国がらというべきでしょう。Copenhagen からはオランダ航空で，8時間遅れの時差の関係から，同じ日の夕方Schiphol（スキポール）空港へ着いた。空港は夕方のせいもあってがらんとしており，人の流れに従って出口の方へ行っていたら，いつのまにか空港ターミナルへ出てしまっていて，何の検査も受けなかった。うわさには聞いていたけれど，一連のハイジャク事件の前だっただけに，のんびりとしかも間っぴろげな空港模様であった。

その日は Amsterdam へ泊り，翌朝汽車で Ede（エーデ）—Wageningen へ向った。この路線は西ドイツ Düsserdolf, Köln への国際線で，普通列車を入れると1時間に数本の便があり，Inter City と呼ばれる急行も1時間に1本の割である。急行に乗ると Utrecht, Ede-Wageningen の順で停車して行く。駅にむかえに来てくれていた PENNING DE VRIES の車で Wageningen へ向った。すでに彼が私達のために借家を一軒みつけておいてくれたのであるが，それが Wageningen から Rijn（ライン）川をへだてて9km離れた隣村 Zetten にあって，車の購入やその他入国手続きのすすむまでは不便なので，4～5日ちようど休暇でアパートも留守にしている VAN KEULEN のところに仮住まいすることになった。部屋の構成は4 K（4部屋＋台所）で小じんまりしているが全体の面積は 120m² 程度で，各部屋が広い。家賃は 200～250fl/month で安く（1 fl≒100円），米国ほどではないけれど，やはり豊かな国民生活が想像された。

Wageningen は人口3万人で，農業関係の研究所，農業大学とこれに関係ある企業のみの町で，書店も3軒，映画館などの娯楽施設はまったくない，こじんまりした町である。この Wageningen すら最近は俗化し，子供の教育環境に適さないとかで，逃げ出した人達の村 Zetten の空気は想像していただけると思う。1週間後家族をむかえて，この田舎村から毎日，Lexkes Veer（フェリーボート）に乗っての通勤が始まった。

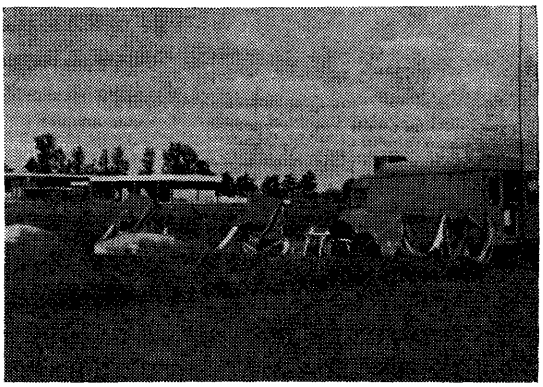

写真1　DE WIT 教授及び ALBERDA 所長グループの群落の光合成，呼吸測定風景

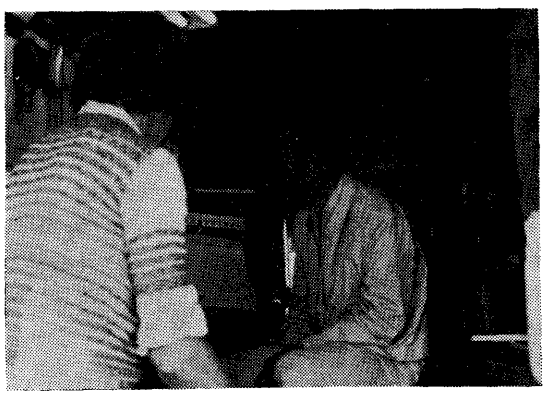

写真2　光合成，呼吸測定車内の WIM LOUWERSE と助手の DIK KREMER（左側）

3. オランダにて

私の身分は農業大学 DE WIT 教授の学科の客員研究員であったが，この学科は誕生してまだ数年しかならず学科といっても我が国の講座の規模で，設備もよくないために，DE WIT 教授らと同じように 研究は IBS で行った。IBS での大きなテーマは1969年 Trebon での光

合成シンポウジムで注目された植物生育のシミュレーションモデル (ELCROS) の改訂版 BACROS (BAsic CROp growth Simulator) の開発とそのための圃場における測定である。前者は PENNING DE VRIES (植物生理専門), VAN KEULEN (土壌物理), GOUDRIAN (農業気象) が担当し, すでに中間報告もなされているが[4], 群落内での受光量から蒸散量を算出する部分の改良の必要があり私の参加と同時に, この改良が私の仕事となった。群落内の受光量は曇天時, 晴天時 (直達光と散乱光) に区別して計算される。この受光量を群落全体で平均化して気孔抵抗を求めていたのであるが, 気孔抵抗と受光量の関係が直線的でないために気孔抵抗が過大評価される。従って受光量の平均を求めず, 日にあたっている葉の気孔抵抗と日陰の葉の気孔抵抗が異なっている状態が再現できるよう変更する必要がある。モデル全体からみれば比較的容易であろうが, 使用計算機に慣れるまでのむだな時間, 途中で使用言語が CSMP の II から CSMP の III へ変ったことなどからかなりの時間を必要とした。

この問題をさらに進めて気孔抵抗を簡単に受光量の関数とせず, 気孔内の炭酸ガス濃度の関数してモデルを組立てるのが私の滞在後半の仕事であった[10]。気孔抵抗を単に気孔内の炭酸ガス濃度の関数とすることによって, 気孔抵抗は受光量, 周囲炭酸ガス濃度, 周囲気温によっても変化し, 過去に実験的に求められている事象と非常によく一致する。私の滞在期間が10ケ月から6ケ月に短縮されることによって, 仕事がまとまるかどうか心配していた DE WIT 教授は大変喜んでいた。

圃場実験の方の指導者は ALBERDA 所長で SIBMA, LOUWERSE が中心になって行われていた。このほかに数名の助手がいて, データの読取り, 葉面積の測定などを行う。データはすべて計算機カードにパンチされ, 既に開発されているデータ処理用の種々のプログラムで処理され討論会の資料となる。通常月に1回の討論会では, DE WIT 教授に代表されるシミュレーショングループと ALBERDA 所長に代表される圃場実験グループが互いに資料, 計算結果を出しあい, お互いの解析の欠点を指摘したり, 実験方法の誤りを発見したり, シミュレーションモデルに用いたパラメータの妥当性を論じ, 次の1月間にグループのメンバー1人1人が何を行うかを決定する。なれないうちには, とまどうほどの激しさ厳しさがあり, 大変勉強になるとともに, DE WIT 教授の多少政治性には富んでいるものの, どこまでも実際のデータをあげての数理的議論には頭が下る思いであった。彼の個性富かな風貌とあいまって, その独特な話法も接する人を魅せるに十分であろう。学生達や研究員のうわさによれば, 彼はこの Wageningen で5指に入る名物教授だそうである。

我が国では, モデルが直接生育の予測や制御の基本であるかの記述をみるが, 世界で最初にシミュレーションモデルを開発し, 以後の研究を続けてきているこのグループのモデル論はこれと大きく異なる。シミュレーションモデルの開発は圃場実験での誤り, 不正確さを部分的に修正するためのものであるという考え方である。現在発表されている最も精巧なモデル (BACROS) さえ, 葉の発生やその展開の幾何学的方向は加味されておらず, これがないモデルは予測や制御に使用できないことは明らかである。

この IBS にはまた LOUWERSE と OORSCHOT によって製作された人工光による光合成測定装置がある。2つの植物個体用チャンバーと2つのリーフチャンバーを2組のCO_2分析計で測定するしくみになっている。チャンバーの内外空気の温度を同一にして被覆面への凝結を防いだり, 常に混合法によって濃度一定の炭酸ガスを測定値をはさんで2種類作りこの3点を記録することによって CO_2 分析計の検定を行うなど独特な設計になっているが, それ以上に私が驚いたのは, 日本ではこのような装置が試作品として完成後ほとんど使われないのに対して, ここでは, この装置は最もひんぱんに利用されているものの1つで, 私もこれを1週間使用させてもらうのに3週間前から申込んでおかなければならなかった。私の帰国時までは製作者の1人である OORSCHOT がオペレータとして働いており, こちらの実験計画を説明しておくと, あとはすべて彼が実験してくれた。彼らの報告にもあるように, 実験データを計算機カードにパンチすると, これから光合成, 呼吸, 蒸散量を求めるプログラムができているので, これによってデータは簡単に処理される[5]。

この程度のプログラムは農業大学の計算機センターで処理できるが, 植物生育モデル BACROS は処理できない。したがって Nijmegen にあるカトリック大学の計算機を利用する。Nijmegen は Wageningen から Rijn 川を渡り約30Km の所にあるこの地方で最も古い町で, アーネムの戦い (第2次大戦) で有名な Arnhem と並んで Rijn 川にかかる橋の争奪戦がくりひろげられた所である。したがって毎日夕方1回計算依頼のデックをまとめて研究助手あるいは Nijmegen からかよっている学生がカトリック大学へ運び, 翌朝また計算デックと結果を IBS へ持ち帰るという, のんびりしたターンアラウンドとなる。しかもこれは原則で, 時には計算機の故

障，デックの破損，運搬する学生が夏休みでいなくなったりで，いらいらさせられることもたびたびであった。帰国前1，2週間はついに直接カトリック大学へでかけて，そこで日に何度も計算機を利用し計算の能率をあげるをえなかった。

農業大学の全学生数は約3,000人で，6年制である。1学年は年によっても異るが平均約800名，農業工学の学生は約80名で，留年は約30%とのことであった。卒業すると Ingenieur という称号をもらい大変大事にしている。前述の DE WIT 教授も互に呼び合う時はファーストネームあるいは愛称で，皆は彼を Kes と呼んでいる。これは愛称である。しかし印刷物，名札では Prof. Dr. Ir. C. T. DE WIT となる。

6年制であるから，我が国の学部と修士課程を合せたものだと思えばよい。6年とは長く感じたので勉強次第で5年でも卒業できるかどうか聞いたら，できるけれどなぜそんなにあせるのかと言わぬばかりの顔をされて，後の質問ができなくなってしまった。特に決った修士，博士課程はなく，大学卒業後4～5年，特定の教授について研究をし，審査に合格して博士となることができる。したがって，博士号の授与は個人的に行われるが，授与される個人にとっては，家族ぐるみの重要行事となる。

温室の研究で有名な ITT は IBS から車で数分の距離にある。Process Engineering and Buildings という Section の長は HEIJNA で，研究員として STOFFERS（物理専門），SPEK（構造力学），KOOPMANS（環境調節と自動制御），WAIJERMAN（計測），SPOELSTRA（農業気象）がいる。STOFFERS はいろいろなことを手がけているが，私が見学させてもらったのは，熱電対における日射の影響を除く方法，群落内の放射収支のシミュレータ，積分球を使用して，ガラス面へ，凝結が起ったかを光で測定する方法などである。彼は連棟温室における日射の透過量を計算で求めているが[8]，電子計算機はきらいなのですべて卓上計算機で計算したそうである。私が帰国直前に遊びに行ったら，その卓上計算機も最新の優秀なものに変っていた。

SPOLSTRA は STOFFERS と協力して温室の熱収支を測定中であった。温室内の CO_2 収支から温室内植物の光合成量も算出するため，温室内外の CO_2 濃度及び土壌から発生する CO_2 も地表面に透明な箱をかぶせ，温室内の空気をこの箱を通して30 ℓ/h で吸引し，その濃度を測定していた。温室換気はファンで行っていたが，温室壁に直径1m程度の円形ダクトを取付け，流量はピトー管で測定していた。夏期に冷房装置として用いられる2方法，パッドアンドファンと温室の中で直接水をスプレーする方法を交互に実施しながら，葉水分，葉厚の変化をみていた[7]。

試作中の調節器としては，Δx コントローラ[3]（昼間の気温を日射量に比例させて設定するのみでなく，湿度

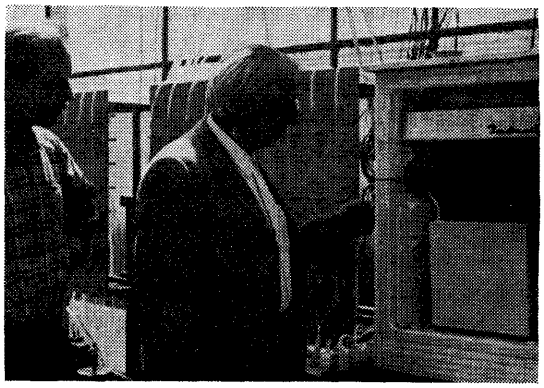

写真3　熱電対の零点ボックスをさらに古い冷蔵庫に入れて外気，日射の影響を受けにくくしている独特の工夫を説明する SPOLSTRA と STOFFERS（左側）。

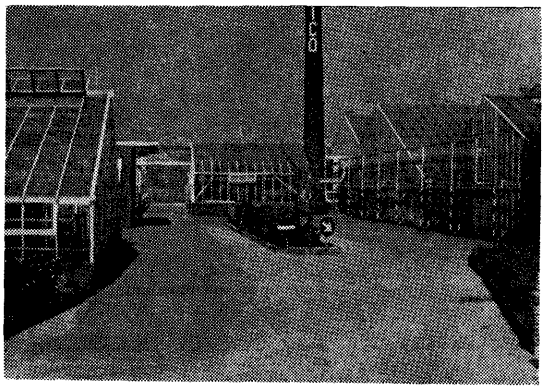

写真4　植物生産工場のような温室群（Aalsmeer の一栽培農家にて）

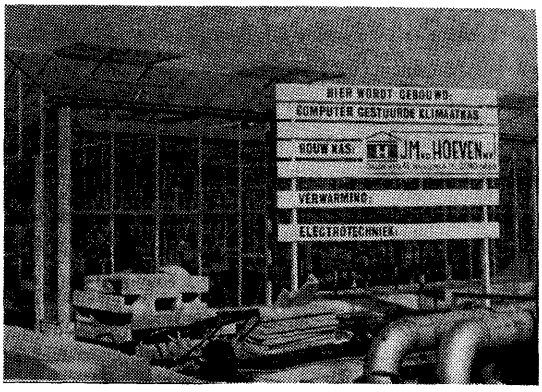

写真5　Naaldwijk 試験場内に建設中の電子計算機による制御温室

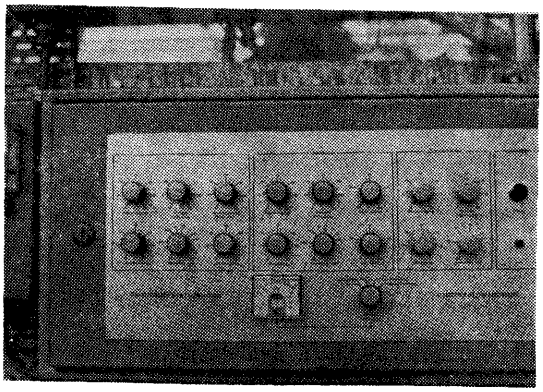

写真6 4x コントローラのパネル板（これだけのツマミで設定値をセットする）

の調節を換気窓の開閉によって行う）をさらに発展させ，積算日射量による夜温の設定あるいは自動かんがい装置によるかん水間隔の設定を組込んでいた。受光部には太陽電池を使用し，拡散フィルターで覆っている。

温室見学には最適とはいいがたい時期の8月下旬，オランダの2大温室栽培地帯である Naaldwijk と Aalsmeer へ旅行した。これにはオランダ文部省から旅費が支給されることになっていた。いずれの地方も大都市 Rotterdam 及び Amsterdam に近いことはいえ，交通の便がよくないので，私の車で行くこととし，費用を計算して請求したら，公共の交通機関を利用しないからだめだという。それでは，公共の交通機関を利用してかかる費用だけで，足らない分は自分で負担するからと交渉したが，これもだめだという。なんとなくおかしな話でずいぶんねばったけれど結局あきらめざるをえなかった。計算してみたら往復の汽車賃は2千円足らずであったよう記憶する。これと一見矛盾して見えることは，私の英国における学会参加費用として往復の飛行機代と汽車賃合計3万円を支給してくれたことである。この話にもなんとなくオランダ人かたぎがよく出ているように思う。

Naaldwijk の試験場では，かねて連絡をとっておいた VAN DE VOOREN に説明してもらい，さらにこの地方にある3個所の栽培家のところにも案内してもらった。試験場では既にかなり普及している 4x コントローラの実施試験及び改良が広範に行われていた。フリージャの温室では土壌を冷凍機で冷却し土壌温度の球根への影響を調べていた。ITT においてもそうであったが，ここでも拡散ガラスは価格が普通のガラスよりわずかに高く，破損しやすいのであり使われないとのことであった。

実際の栽培で天然ガスが暖房用と CO_2 施肥用として使用されており，これからこの形式がふえるようである。ただこの地方は大都市に近いという良い立地条件に恵まれているが，北風をさえぎるだけの石垣から出発した温室が次第に費用のかかるものとなるにつけ，逆に大都市に近いということが欠点になる。オランダにおける平均的農地の価格が100～150万円/ヘクタールであるのに対し，Rotterdam 郊外の温室地帯は900万円/ヘクタールであり，栽培されるものも蔬菜から花卉へ移りつつあるだけでなく，温室が次第にアパートに変りつつある。さらに Rotterdam は工業都市でもあるため，大気汚染もかなりすすんでおり，試験場でも毎日の大気汚染状態をモニタするのみでなく，各種の試験区を設けて栽培実験も行っている。

Aalsmeer の試験場は Naaldwijk に比較して小さく，花卉の栽培試験に重点を置いている。冬に1本175円もするバラが夏には品質が低下し10円にもなる。したがって夏期の品質保持が大きな問題で，1つの方向としては日射量をできるだけしゃへいしないで葉温及び湿度を調節することによってなんとか品質が低下しないようにできないかいろいろ研究を行っていた。

Naaldwijk 地方に多い蔬菜温室と比較するとははるかに省力化，機械化がすすんでいる。花卉の市場価値が高いせいであろう。

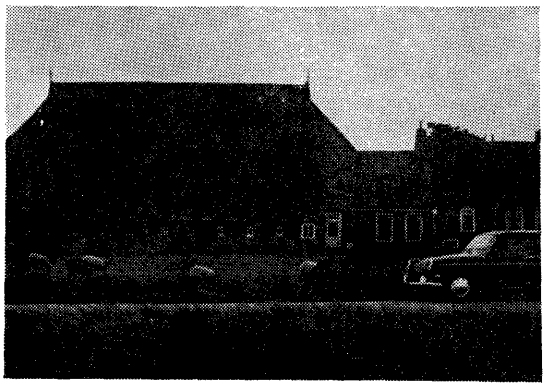

写真7 Friesland 地方の典型的農家（牛の型をしており右から head, neck, trunk と呼ばれる）

夏に休暇を1週間ばかりとり，家族をつれてオランダのスコットランドといわれる Friesland 地方を車で旅行した。この地方は1600年代には現在の Amsterdam や Rotterdam 以上に栄えた町が多く点在している。その中の1つ Leeuwarden を訪れたとき，つり道具屋の軒先に衣製の鯉のぼりをみつけ大変驚いた。8月8日はヨーロッパ中のヨット仲間が Sneek 市に集まりここで24時間のヨットの祭典を行う。私達もこの日ここを訪れたが，1600年代からの古い建物と水路やヨットがきれい

に調和しなんともいえなかった。この地方の地酒 Burenburg もまた変った味の酒である。

この地方には牛がねそべった型をした農家が多い。頭の部分が母屋であり，首にあたる土間を通じて胴の畜舎へとつながっている。冬の気候を考えての設計であろう。

IBS における光合成測定装置，Δx コントローラなどの原理の説明，解説は別の機会にゆづる[9]。

文　献

1) *Agricultural Science in the Netherlands*, 1971, 344pp.
数年おきに出ているオランダ特に Wageningen にある農業関係の研究所及び大学の学科案内で，オランダ留学を希望する人は必ず目を通す必要がある。付録の Wageningen の地図は大変詳しく，この町に慣れるまでは必要なものである。

2) *ANWB autokaart*.
オランダの自動車連盟が販売している自動車用の地図でオランダ北部，中部，南部がそれぞれ1枚の地図におさめられている。風景のすばらしい道，城の位置，博物館，美術館の位置など名所見物をするのに役立つ。

3) BOOKHORST, D., VAN DRENTH, A., and VAN HOLSTEYN, G. P. A., 1972, Lichtafhankelijke Klimaatregeling voor Kassen. *ITT Report*. No.74.

4) GOUDRIAN, J., 1973, Crop simulation and experimental evaluation. SCSC Proc., 2, 827-829.

5) LOUWERSE, W. and VAN OORSCHOT, J. L. P., 1969, An assembly for routine measurements of photosynthesis, respiration and transpiration of intact plants under controlled conditions. *Photosynthetica*, 3, 305-315.

6) 日本交通交社，1972，海外ガイド，オランダ，ベルギー編，160pp. 多少の誤りはあるけれど，比較的よくまとめてあり，オランダ内の旅行に役立つ。しかし，より詳しく正確に知りたい場合，季節的な不定期な催し物などの案内は現地のVVV案内所へ行くに限る。

7) SPOELSTRA, P., VAN DER POST, C. J. and HOPMANS, P. A. M., 1973, Energiebalans en Water Huishouding van Kasrozen bij Hoge Instraling. *ITT Report* No. 80.

8) STOFFERS, J. A., 1971, Lichtdurchlässigkeit von Gewächshäusern in Blockbauweise. *ITT Report* No. 39. 前述の ITT Report がすべてオランダ語で書かれていることからもわかるように，研究所の目的が実際の栽培家への直接的普及であるためにレポートのほとんどすべてがオランダ語で書かれておりこのレポートのように外国語で書かれることはめづらしい。

9) 高倉直，1974，ヨーロッパの環境調節技術，農業及園芸（印刷中）

10) TAKAKURA, T., GOUDRIAN, J. and LOUWERSE, W., 1974, A behaviour model to simulate stomatal resistance. *Agr. Met.* (to be published).