

経営分野から「植物工場」を考える

誌名	農業技術
ISSN	03888479
著者	堀, 箆謙
巻/号	43巻3号
掲載ページ	p. 97-101
発行年月	1988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



経営分野から「植物工場」を考える

堀 籠 謙

1. 「植物工場」への社会科学的視点

養液栽培によって高度に装置化され、全面的に環境制御を可能にした作物生産技術が「植物工場」と呼ばれ、一部の農家も大きな関心を寄せている。その実用化の可能性を信じ、他方で大幅な農業生産の技術革新を期待しているからであろう。

技術的な生産の仕組みと開発現状および見通しについては既に本誌に川井論文がある(第42巻第10号)。ここでは経営分野からの一つの見方をのべておきたい。

完全に人為的(資本財による)な環境制御植物生産技術の固有名詞として呼ぶならよいが、社会科学でいう「生産様式」の意味も含まれるとすると、「植物工場」の定義に若干の検討が加えられなければならない。まず、産業区分でいう「農業」とは“太陽からの放射エネルギー(光と熱)を直接無媒介(資本財によらないで)の宇宙的因子として、緑色植物のエネルギー源とし、他方、地上的因子としての土壌を媒介に、原料の養分と補助材料の水を作用させて有機物(食料)エネルギーを創造する産業”である。人間の労働は土に働きかけて養分と水の供給を調節するのが特徴である。この土地が有限であり、場所

によって条件を異にし、しかも所有されていることで、農業経済学や農業経営学が独自体系として成立してきた。

「太陽と土のない農業」は表現の矛盾であって、それは工業にほかならない。科学技術が植物の工業的生産方式を創り出したということである。といて農家が営業できないという法はない。その生産方式が家族経営に適していれば当然に農家にも採用され得る。

ところが、施設園芸の展開過程で土(または地力)に依存しない作物生産の方向に事実上進化してきていた。それは第1表にみる横系列の進化であるが、土耕から水耕・養液栽培への移行に工業的生産への一画期が見出せ、さらに人工光採用によって工業的生産方式の完成の画期を見出す。他方、社会科学という技術的生産様式があつて、縦の系列に進化すると考えられている。“各経済時代の生産は一定の分業によって区別”されてきたが、工程内の分業による協業で連続生産(播種と収穫が毎日連続的に行われ、別の人によって担当)される時、文字どおり植物生産の「工場制」の完成が画期づけられる。

近代社会は工業の生産様式に規定され、「工場制」と資本主義経済制度が照応する。農業は副次的な位置づけ

第1表 「植物工場」の社会科学的定義への接近模式

施設栽培の展開	施設	トンネル → 簡易ハウス → 半鉄骨 → 総鉄骨重装備 → (自動制御) → 密閉式(人工光型)工場 (小型→中型) (竹→パイプ) 連棟ハウス 大型ハウス				
	育苗	冷・温床(油紙, ビニール) → ハウス内育苗 → 鉢育苗 →			養液育苗	
環境制御の深化・高度化	土壌管理	地床 (全層施肥と溝施肥併用)		揚床(有底床) (全層施肥多肥)		養液栽培
	栽培様式	早熟栽培段階 →		促成栽培段階 →	長期越冬栽培段階 →	周年連続栽培段階
技術的生産様式	手工業(家内工業)生産 〔零細分散小農生産〕 (同職組合作業場生産)	○	○	○	○	△
	マニファクチュア	△	△	△	△	△
	工場制(機械制)生産 〔農場制(機械化)生産〕 (部分自動化生産)	▲	▲	▲	▲	○
	総合自動化生産					

注) ○体制的 ▲部分工程 △生産体の部分

となり、農場制(機械化)生産がそれに照応するものと考えられてきた。したがって、植物・食料生産が仮に「工場制」をとることは、社会の生産力構造の一大変革を意味し、社会科学一

Ken HORIGOME: An Opinion on Hi-technology of Horticultur under Structure. 農業技術 43 (3), 1988.

般の通説がひっくり返ることにもなる。また、以上のべたことは、植物の“工業的生産”と“工場制生産”と

は区別して考えることを意味する。

2. 施設園芸における工業的生産発生の 連続性と必然性

野菜の施設栽培は、自然依存ではその生産が困難な品薄時の高価格によって収益の増加を狙う技術であった。前進栽培で収穫の早期化と初期収量の増加が基本におかれ、温度を中心とする環境制御技術の高度化として展開してきた。この結果、いまや主要野菜は周年生産・供給がほぼ可能となり、その消費需要を作り出してきた。

温度を中心とする環境制御は施設に依存する技術で、技術の高度化とは、加温、自動カーテン・換水・換気、ガス発生などの装置の設備として行われるので、設備投資額を高め、その操業費用も増大させてくる。このようにして地上的環境制御は高位生産の可能性を高めるが、他方の土壌の生産的機能はこれに応じて併行しては高まらない跛行的展開となる。したがって、技術が高度化すればするほど費用が増大するにもかかわらず生産力を飛躍的に向上できなかった。施設の固定化による限定された土壌での単品目の連作では、連作障害が発生し、むしろ、低下させてくることもしばしばであった。

しかも、昭和50年代に入ると施設栽培経営の交易条件はきわめて悪化してくる。この結果、施設栽培経営の収益性が低下し損失を生じてくるようになる。

このような経営の困難を克服するには、地下部・土壌の生産的機能を高め、生産力の飛躍的向上を図り、端境期需要にも比較的安い価格での供給を可能にすることである。施設農家の技術革新期待はここにある。

従来とも地下部の環境制御技術も発展してきている。しかし、「地力」に依存しそれを高める方向ではない。揚げ床にみられるように、浅耕のまま根圏を限定して制御性を高め、その上に専ら化学肥料の多投・追肥重点の施肥法で肥効の持続性を図ってきた。それは驚異的多肥栽培でもある。下層土と分断した根圏限定は、地下水との分断も意味し、それだけ人為的に土壤水分の調節を容易にした。いわば本来の農業生産というよりも「工業化」の方向への進化であった。それでも、長期越冬栽培が普及するなかで、土耕の制約がよりあきらかになってくる。

“地力”を完全に否定しその制約を克服する養液栽培の開発がそこに必然化される。自然力の資本財代替が完成し、工業的生産方式に一画期を与える。そして、養液栽培が仮に期待どおりに機能し、土耕の制約を克服するならば、課題は再度地上部の環境制御に戻る。養液栽培装置への新たな固定資本の投下に対応する資本回転の圧

力が生育促進を要請すると、生産力向上の制限因子が日射量になってくるであろうからである。こうして人工光装置の開発で工業的生産方式が完成する。

3. 養液栽培経営の成立と性格

1) 養液栽培経営の成立と技術的問題 半工業的生産方式である養液栽培技術は、既に施設栽培の先進経営に採用され、経営技術として成立している(第2表)。その装置の開発

第2表 養液栽培施設の設定面積推移
(単位:ha)

年次	合計	作物別		施設別	
		野菜	花き	ガラス室	ハウス
昭和40年	15			4	11
46年	31	30	0	8	23
50年	104	99	5	34	71
54年	262	249	13	61	202
58年	293	271	22	85	208
60年	245	239	6	106	139

も昭和35年以來61年までに38型式が発表され、うち18型式が市販されている。もともと地力による生産力向上を否定

する方向で展開してきたので、地力の分析的解明による人為化は、科学の発達水準からいって容易であったに違いない。だから養液栽培の原理(土地の保肥力と可給態化力の代替=液肥調整と装置内循環、機械的支持力、ガス交換機能、地温と液温など)とノウハウはかなり古くから開発され、昭和30年代や40年代にも実用化・普及の兆があったが、46年に30haと必ずしも一般に普及しなかった。その理由は次のように整理できる。

①液肥の調合、EC・pHの調整に高度緻密な技能性が要求される篤農技術にとどまった。②栽培管理に従来の施設園芸経験は役に立たず、大幅に方向転換の要があり、不安がもたれた。③緩衝作用がなく、一度病気が発生するとまたたくまに慢延し致命的となった。④一度装置が停止した場合、ガス交換が不能で致命的であった。⑤天候変化に合わせて根の吸収作用が充分調節できないため、養分吸収が促進され、草勢旺盛になり過ぎる。⑥砂耕・礫耕では連作障害らしきものが発生し、完全に克服できたとはいえない。⑦残根の処理がやっかいで困惑した。⑧地力の外給依存の余地がなお残されていた(トレンチャー深耕やバーク堆肥の多投など)。

昭和50年代に入って急速に普及する。その分布は、①愛知(36.6ha)、②千葉(33.6ha)、③静岡(28.1ha)の諸県に多く、40年代までの巨大都市地域の設置試行に対して近郊園芸県に伸びている。とはいえ、静岡県の例でみると、それは都市化区域に集中し、市街化区域と市街化調整区域に98%設置され、農村部には全くみられない。

これら養液栽培導入の契機・狙いは、①連作障害の回

避(45%), ②年中栽培ができる(42%), ③省力化・楽になる(33%), ④作業環境きれい・衛生的(21%), ⑤土耕より多収(20%), などである(農林水産省野菜振興課アンケート調査・1,179例回答, 60年)。これらの背景には都市化による土地の縮小あるいは地価騰貴のもとでの集約化による生産の維持向上の要請があるに違いない。

ところでさきに挙げた8点の問題点がすべて解決したのであろうか。同アンケート調査の不満に思う問題点の回答に, ①病害虫の一斉拡散(36%), ②温度管理困難・高温障害の発生(33%), ③培養液管理面倒(20%)が挙げられ, また, 静岡県調査(105戸回答, 61年)でも, その問題点に「病気に苦勞する」(60%余), 及び「養液の管理や品種・装置の選定に苦勞する」が挙げられており, 必ずしも解決されているとはいえない。もっとも篤農技術から科学技術になってきたとはいえ, マイコン制御は面積でなお15%に過ぎず, ロックウール利用は1%ほどに過ぎない現状にある。

それにしても, 養液栽培の設置面積が58年度末から60年度末にかけて48ha減少し, 増設の趨勢が停滞に転じてきている。もっとも, 近年の施設園芸の動向をみると, 重装備による越冬長期多段どりが, 技術の勝利といわれながら, 設置面積の伸びはむしろ無加温簡易ハウスにみられ, 総面積の2/3までを占めるようになってきている。

2) 養液栽培経営の経済性格 養液栽培は, さきの導入動機に技術的に充分答え得る科学技術でなければならないと同時に, それは地上部の環境制御(設備投資)の高度化に対応して飛躍的に生産力を高め, 経営の収益性を高める技術でなければならない。しかし, 養液栽培に転

第3表 養液栽培の野菜品目別面積(割合)

(単位: 千m².%)

	施設利用実面積	栽培延面積
ト マ ト	1,052 (42.8)	1,585 (13.8)
ミ ツ バ	724 (29.5)	4,624 (40.4)
キ ュ ウ リ	220 (9.0)	364 (3.2)
カイワレダイコン	88 (3.6)	3,399 (29.7)
イ チ ゴ	39 (1.6)	42 (0.4)
シ ソ	26 (1.1)	30 (0.3)
シュンギク	20 (0.8)	69 (0.6)
温室メロン	15 (0.6)	24 (0.2)
サラダナ	15 (0.6)	107 (0.9)
コマツナ	11 (0.5)	56 (0.5)
クレソン	8 (0.3)	39 (0.3)
一般メロン	4 (0.2)	4 (0)
その他	79 (3.2)	258 (2.3)
合計	2,456(100.0)	11,450(100.0)
利用率	(100.0)	(466.2)

注) 農林水産省野菜振興課資料によって作成

化する場合に, 養液槽など地下部環境制御装置にさらに追加投資(ほぼm²当り12,000円)が必要とされ, それも併せて回収される必要がある。

養液栽培の品目は, 弱光性で生育回転の速い葉もの野菜がなお主流であり, 施設も4.7回転ほど利用されている(第3表)。とはいえ, 施設栽培経営の中心品目である果菜, とくにトマト栽培にもかなり実用化されてきている。そのトマトの養液栽培事例について, 土耕の施設栽培と比較し, 経営的性格を検討すると(第4表), 面積当

第4表 トマトの養液栽培経営事例の収益検討

項 目	① 養液栽培	② ハウス促成冬どり	①/②
園芸施設投資額(円/10a)	1,870万 ~2,190万	800万 ~1,000万	2.2
第2次生産費用(円/10a)	287万 ~272万	177万	1.6
収 量 (t/10a)	16	8.5	1.9
コ ス ト (kg/円)	190	209	0.9
販 売 価 格 (kg/円)	275	200	1.4
所 得 (円/10a)	133万	93万	1.4
投入労働時間(hr/10a)	1,300	900	1.4
労働報酬(円/hr)	1,023	1,033	—

資料: ① 養液栽培事例は群馬県「新農業技術実用化調査事業結果報告書」A農家58年, による。

② ハウス促成冬どりは農水省統計情報部「野菜生産費」58年, による。

り所得の向上・改善にはなっているが, 労働報酬の向上にはあまり機能していない。経営規模も土耕のそれを越えて拡大し得ていない。確かに雇用経営の割合は高くなっているが, それは回転率の高い, 単純労働の調整作業に著しく労働を要するミツバ・葉ネギなどの経営のことで, 6割までは家族労働によって経営される。しかも46%を占める果菜経営でとくにそうである。

従来の土耕による施設園芸経営展開の延長線にあってその経営的性格は同質である。そして養液栽培装置への追加投資のため, 施設投資額が土耕に比べて約2倍を要し, その分生産を高め, 面積当り所得もある程度は高めるものの, 充分比例的には高め得ない。施設投資は通常借入資金に依存(2/3の農家1戸当り1,200万円余・年間返済金平均150万円)するので, その元金償還によって可処分所得はむしろ減少してしまうことになる。

したがって, 養液栽培を導入した結果の自己評価は, ①作業が楽である(49%), ②年中施設が利用できる(46%), ③堆肥作りなどの作業がいらなくなった(33%), 等でよかったが, ①初期導入施設費が高い(67%), ②操業費(農薬・肥料・電気諸経費)がかかり過ぎる(41%), ③期待したほど収益が上らない(33%), などが経

営面で不満に思う点に挙げている（農水省アンケート調査）。とはいえ、養液栽培をやめたいとするものは9%にとどまり、現行（面積規模・品目とも）のまま続けたい(49%)、新品目にとり組んで続ける(32%)、面積規模を拡大する(24%)、と総じて継続志向である。

工業的生産方式に半歩踏み込んだものの、工場制生産様式には容易に展開し得ない。しかし、土耕のいきづまりのなかで移行したのであるから、一時的に可処分所得が減っても土耕に戻ることはない。

4. 工業的生産方式の萌芽的形成とその性格

1) 実用化試行経営の発生 養液耕・人工光依存で自然と完全に隔絶した閉鎖型の「植物工場」は、各種企業の参入による実用化試行プラントが各地に稼働し、野菜生産を始めている。そればかりでなく、直接経営試行も7経営体発生している(60年末)。1つは流通資本(ダイエー)の店頭デモンストレーション装置による直売例である。他は都市ないし近郊の小企業農に進展した施設野菜経営の技術革新として導入したものである(その後、半年の営業で採算の目途が立たず、2例の廃業が伝えられる)。以上の経営試行の対象作物はいずれも弱光性のレタス・サラダナで、未だ葉ものに限定され、このかぎりでは「葉菜工場」であり、現行の技術開発水準では施設栽培の中心品目である果菜への挑戦は無理であることを結果的に示している。

2) 試行経営の経済的性格 試行経営の収支について十分検討に耐えるデータが得られていない。技術開発の場からリーフレタスのデモル試算が公表されているのを利用する(第5,6表)。340m²規模の試算であるが、その設備投資が現行養液栽培の6.5倍ほどに巨大で(10a換

第5表 植物の工場の生産施設における年間生産費(伊東)
(栽培室面積 260m²; 育苗室面積 80m²)

項目	金額(千円)	備考	
直接生産費	種苗	33	90m ² ×12月×30円
	ウレタン	96	18,000×12月×0.4円
	肥料	276	23,000×12月
	炭酸ガス	87	60kg×12月×120円/kg
	水道	27	15m ³ ×12月×150円/m ³
	電気	7,650	28,000kW・h×12月×21(27)円
	その他	150	電気, その他
小計	8,319		
間接生産費	減価償却	5,625	8年, 建設費, 45,000千円
	借入金利子	1,100	借入金40,000千円, 年率5%
	小計	6,725	
合計	15,044		

資料:『養液栽培の新技術』p.96

第6表 植物の工場の生産施設における年間収入試算(伊東)
(栽培室面積 260m²; 育苗室面積 80m²)

第1試算	栽培可能株数	20×16×21=6,720株
	栽培室での所要日数	15日
	日産株数	6,720÷15×0.8=358株
	日収入	358×105=37,590円
	年間収入見込	37,590×310日=11,653千円
第2試算	栽培可能株数	20×16×27=8,640株
	栽培室での所要日数	13日
	日産株数	8,640÷13×0.95=630株
	日収入	630×105=66,150円
	年間収入見込	66,150×310日=20,500千円

注) 第1試算は最低限で、第2試算は努力目標
資料:『養液栽培の新技術』p.100

算)、償却費・利子の年間負担が膨大である。操業費も大きいのが電力料がその91.2%を占める(総生産費用の50.1%)。安全な実績として見込める収入からこの経費(労働費を含まない)を差引くと339(11,653千円-15,044千円)万円もの損失を生じ、安全な実績の収入としての現行技術水準・生産物価格水準では未だ全く成立し得ない。

他方に収量・収入の努力目標も掲げられ、それによると546万円(20,500千円-15,044千円)の所得が得られる。仮に3,400時間の投入労働を必要とするならば、時間当たり1,600円の労働報酬が得られ、どうにか家族経営が成立しそうにみえる。ただし、これが家族労働力2人で経営可能なのか、雇用を要するのかが吟味されていない。重要な点は、膨大な投資を借入資金によった場合、その元金償還によって所得の大部分を失い、生活に資する可処分所得をなくする。

さらに、試算に当って販売価格を1株105円としている。現在の試行経営もほぼ同じ程度の価格水準で販売しているが、それは販売店との直取引によるもので、しかも差別価格としてである。一般市場価格ははるかにこれを下まわって形成されている。

以上は現行の技術開発水準では、たとえ弱光依存の葉ものでも工業的生産方式は家族経営の採用としては一般的にはなお成立し得ないことを示している。

3) 工業的生産方式の社会的存立条件 植物の工業的生産が農業生産のどの面を変革することになるか、最近の科学技術の進歩は筆者の予測を超えるが、(1)農業生産の一部工程(育種・育苗・生産物管理)に機能し、本来の農業生産力を高めることは従来も行われてきたことである。また、(2)宇宙空間に地上的環境を創造するとか、生育限界地(南極, エスキモー社会, 砂漠など)に、経済性を無視して作物生産を可能にする場合もここで問題とするに当たらない。

(3)一部の論者がいう農林業に全くおき代わる可能性があるとするれば、大地上自然のなかで植物生育と共生して生存基盤を得てきた人間にとって価値観の大転換を伴うラジカルな問題を提起する。それは近代農業革命以上に、古代農業革命以来の一大変革であるに違いない。

工業的生産方式が農林業に代わって成立するためには農業生産の次の基本的特徴を全面的に引継がなければならない。①生産の安定性、②生産の永続性、③人間食料としての安全性と味覚、の三点であるが、その上で、④農業よりもその生産性・経済効率が高くなければならない。①の条件はむしろ工業的生産で勝れてくるだろう。仮に②の条件も可能だとしても、③の条件は、化石・原子力エネルギーを消費するだけでなく、有機エネルギーの循環・再生産機構を内部にもたなければならない意味で容易なことと思えない。しかも、光エネルギーの有機エネルギーへの変換効率はきわめて低く見受けられる。化石・原子力エネルギーの生産性が著しく向上し、生産原価が安価になったとしても、現行の弱光性軟弱野菜の検討からみて、④の条件に照して非経済財の太陽光に代わって穀作などに実用化することはおそらく不可能とみたい。しかも、原子力エネルギーが未だ人類の合意が得られないとき、仮に可能性があると看做されても開発されるべきではないと考えたい。

(4)施設園芸の環境制御技術の連続的高度化として施設栽培の生産性向上技術を狙って開発している場合が多いが、農業の極く一部門であり、従来、エネルギー浪費の生産部門として社会的に容認されてきた実績から、経営収支さえ償うならばここに成立してくることになる。

現行開発の技術水準では、弱光性の葉ものでさえも経営の採算がとりにくいのみだが、設備投資や操業経費をべらぼうに要しても、付加価値の高い新商品や差別化商品を開発し、その市場価格の高さがコスト上昇をカバーできるならば経営に採用され得る。事実、現行の試行経営が維持されているのは、フレッシュ・清浄(直売・無農薬)イメージによる差別価格を実現しているからである(ダイエーバイオファームのサニーレタス198円/株、サラダナ1株:富士農園90円、三浦農園105円)。

工業的生産方式が野菜の社会的需要の基本にある重要野菜の規格品大量消費需要に応えるのか、付加価値の高い少量多品目の差別化商品需要に応えるのか問われる。

製品差別化をいうとき、季節的差別化が容易で社会的需要も創造され得るが、旧来の土耕施設栽培で主要野菜の周年供給は既にほぼ完成されてきている。未達成の品目は、重量比価が小さく、厳冬期生育の加温燃料費を市場価格が吸収し得ない野菜である。これら野菜は日もち

の長いものに多く、熱帯・亜熱帯生産の移輸入も多く、総じて季節的差別化・周年供給によって需要を創り出す社会的意義を工業的生産に期待する余地はあまりない。

消費需要の健康・安全・本物志向の需要も確かに増大してきている。しかし、それは土耕・有機・無農薬の自然との関連のなかでの商品イメージのはずであった。工業的生産にどこまで移行するかは疑問である。

真冬の釧路、真夏の沖縄などで新鮮野菜の地場供給を創り出す、ないし緑黄野菜の周年需要に応え、東京経済圏でハウレンソウを供給する、などの意義もまた輸送の基盤条件と手段や鮮度保持手段の発達した現在、豊かな暮しを作り出すための絶対的意義をもたず、主産地からの輸送コストの比較が条件になってくる。

4) 工業的生産経営の成立課題 結局、現行施設栽培商品の生産性向上による低コスト供給が可能であるときに工業的生産経営の一般的成立、工業的生産技術の社会的意義を見出さざるを得ない。とすると、当分経営的に成立する可能性はない。

低コスト化への技術開発の方向は、前掲第6表の努力目標にみられるように、作物ごとに制御する最適環境の探索による生育日数の短縮・施設操業度の向上に目標の一つがおかれているように見受けられる。しかし、チップバーンの発生が既に問題になっているように、作物の生育段階ごとに一定の時間経過が必要であろうから、それほど高めることは不可能であろう。他方、太陽光・人工光併用によって電力料の低減を図るのも開発目標の一つである。しかし、人工光を補助的に利用して最適環境を作るにしても、電灯料は節減されても、施設は全く変わらないであろう。

施設栽培の最も中心的なトマトの現行「生産費」200円/kg、時間当たり労働報酬1,000円を実現するのを条件に、仮に収量を5倍(42t/半年)に見積り、差別価格を考えないで、かつ、太陽光併用で電力料を半減させた場合でも、それが工業的生産方式に移行するには、装置設備投資額が現在葉もので試行操業されている施設の半額ほどに縮減される資材や装置の開発が必要である。

もつとも、冬春トマトの関東東海近在産地でも市場までの運送料に卸売価格の3~8%を要し、集出荷経費総額で19~26%を要しているの、現在の施設生産コスト以下にならなくても、都市立地・直売で企業資本を担い手とする「野菜工場」の成立する可能性もでてくる。現行の施設栽培の低コスト化技術革新はこの参入を阻止する意義をもつことになる。

(注) 参考文献省略, NARC 研究速報第4号(1987・3)39~45参照。

(農業研究センター園芸経営研究室長)