

垂直農場(Vertical Farming) という幻影と立体型植物栽培

誌名	農業および園芸 = Agriculture and horticulture
ISSN	03695247
著者名	高倉,直
発行元	養賢堂
巻/号	88巻12号
巻号補足	
掲載ページ	p. 1173-1176
発行年月	2013年12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



垂直農場（Vertical Farming）という幻影と立体型植物栽培

高倉 直*

〔キーワード〕: 温度勾配, タワー温室, 都市農業,
光の減衰

はじめに

最近, 垂直農場という言葉が使われ始めた。アメリカの微生物学が専門の教授が著した *Vertical Farm* の訳であり, 訳本まで出ている。大都市の高層ビルの各層の窓からあふれんばかりの植物が生育しているバーチャルな構想図が示されており, インターネットでも大々的に宣伝されているし (Despommier 2013), 似たような構想図がいろいろとあふれてくるようになった (e.g., Gordon-graffs 2013, Skygreen 2013)。植物栽培と環境調節を専門とする研究者ならこれはおかしいと直感するのではないだろうか。

立体栽培の構想ないしは実験は古くから存在する。バビロンの塔もその一つである。立体栽培は大きく分けて, 3 つになる。高層建物の室内に観賞用として植物を栽培する。展示会や博覧会場で, 人集めのシンボルとして作られる。立体農場として作物を栽培するものであるが, 問題は作物栽培であり, インターネット上ではこれらが混同されているので, 注意が必要であろう。

明確な過去の事例をいくつか紹介しながら, このような構想が安易に実現されないことを祈りたい。窓の限られた高層ビルより, はるかに太陽光が中に多く入る, 数十メートルのタワー状の温室すなわちタワー温室がヨーロッパと我が国にかつて存在し, その末路がどうであったかを知る人が少なくなっている。タワー温室は人工光でも実験された。人工光植物工場だけでなく, 太陽光利用型温室でも, 植物を立体栽培した例はアメリカ, 英国, 我が国にもあったし, 我が国では現存するものもある。その問題点を改めて紹介しよう。

(社) 日本電子工業振興協会が事務局となり, 植物工場システム調査委員会が組織されて, 植物工場の調査研究が行われたことを理解している人もすくないのには驚かざるを得ない。その報告書は 1976 年に出されているが (高倉 1976), 委員は IT 関連

の日立製作所, 松下通信工業, 住友電気工業, 東京芝浦電気, 三菱電機, 立石電気, 富士通電機製造, 富士通, 山武ハネウエル, シャープなど大手電機メーカーを中心に 20 団体 (名称は当時のもの) で成り立っており, 4 つのワーキンググループが精力的に調査研究している。最近, スマートアグリというキャッチフレーズとともに, 再び施設園芸の IT 化が注目を集めており, この中のいくつかの企業は再度参入することがメディアで報告されている。喜ばしいことであると同時に, もう一度この報告書を参考に, この 40 年前に現在も IT のトップである企業が参加し, それなりの調査解析をしたにもかかわらず, その後大きく発展しなかったのは, 何が問題であったのかを検討する必要があるのではないだろうか。最近の進歩は IT というより ICT と表現すべきであろう。スマートフォンやクラウド方式に代表されるように, 関連機器の小型化, 無線化, その他高機能化が進み, 従来のコンピュータの応用範囲が格段に広がったが, 大部分は通信の部分である。植物やその環境から直接情報をとる部分ではどうであろうか。あまり大きく進展していないというのが筆者のみるところである。

作物栽培では群落全体を個体ベースで管理しなければならない。専門を越えて, 個別の医者が包括的に, 毎日 1,000 人, 2,000 人あるいはそれ以上の人の健康状態を管理することにたとえることができるのではないだろうか。カメラや計測センサーを配置するとしても十分とはいえず, また計測されたデータの解析が正確になされないと意味がない。そもそも植物から直接, 意味のある情報を得るのは容易ではない。匠の技と言われるところで, スマートアグリでは, 匠の動きに IT 技術を適用して, その匠の技が獲得できるとするが, 画像情報として匠, 本人もあまり意識してない頭の中にある情報を取り出すことは, 簡単ではない (高倉 2011b)。現在のスマートアグリはこのあたりを表面的にしかとらえられていないといえる。

*沖縄県農業研究センター (Tadashi Takakura)

タワー温室

筆者が大学院に進学したのは1962年で、生物環境工学を専攻したが、当時はまだ正式にこの分野が確立しておらず、まさに黎明期であったため、海外を含めて多くの情報を集めることに熱心であり、その結果を機会あるごとに、農学系と言うより工学系の雑誌に紹介した(杉ら1965, 高倉1975)。これが第1次植物工場ブームに火を付けたことになったことは否定できない。我が国に、タワー温室を最初に紹介したのも筆者らである。最初のタワー温室は1960年代初めにオーストリアウィーンでの展示会場にいわば見世物として高さ40mのものが建設されている。その後、やはりウィーンの公園の一角に写真1aのようなやや小型のものが作られた。写真1aの左の高い方は太陽光利用型、すぐ右側の低いものは内部を発泡スチロールで覆い、その中に人工光を設置したものである。写真1bはドイツハノーバー大学園芸工学研究室に建設されたものである。当時は画期的なものという認識があったので、指導教官の関係で、当時の専売公社秦野たばこ試験場にも建設され、その中の環境条件の計測が行われ、特に光環境に大きな問題点があることが指摘された(杉ら1968)。

その他の立体栽培

工業的植物生産が脚光を浴びるようになり、通常の温室に平型コンベアを設置し、上下2段で栽培する方式が、英国国立農業工学短期大学や大阪府立農

林技術センターに設置された。米国ホイタッカー社も同様なシステムでの栽培を行った(写真2)。同社では栽培ベッドの上部をたぐり寄せることで、収穫が一カ所でできるようにして、作業の効率化をはかっていた。いまはすべて存在しない。現在我が国で行われているところがあるが、2段目以下は光が不足するため人工光で補光している。ポット栽培植物を小型の観覧車のようなものに搭載するシステムもいくつか作られたが、存続しなかった。

実用的な立体栽培は、下の植物に大きな影響がない程度に、天井部分に鉢物の植物をぶら下げて栽培する方式があるが、一部の観葉植物に限られる。

立体栽培の問題点

単位床面積あたりの栽培面積を増やし、収量増を期待するのであるが、写真2からわかるように、段数を重ねると、ちょうど背の高い植物群落と似たような状態になる。同写真からもわかるように、下段ではかなり陰ができていているが、人間の目ではあまり大きな問題であるようには見えない。展示用として英国の動物園に作られた立体式移動ベンチ栽培でも下段での光不足が明確になっている(Frediani 2011)。

a) 植物群落内の光分布

植物にとって光は最も重要な環境条件であることはいままでもない。地球上で豊富な太陽の下で進化してきたことであり、歴史がそれを物語っている。ところが、人間と植物では必要とする光強度が著しく異なることは、通常我々が生活する室内の人工照



写真1a ウィーンのタワー温室
いずれも問題が多く、1975年には使用されていなかった

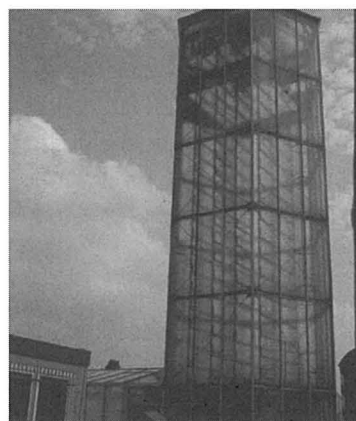


写真1b ハノーバー大学のタワー温室

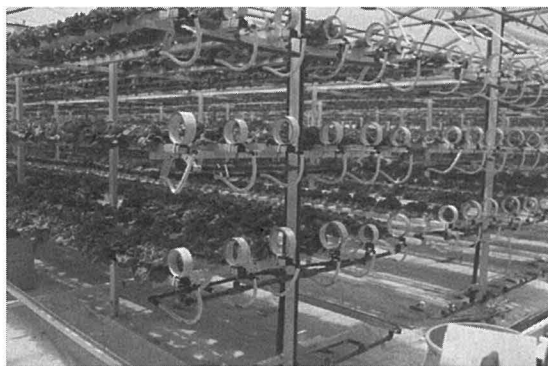


写真2 米国ホイタッカー社の立体栽培（岩崎正男氏提供）

明の明るさを考えれば明らかである。JIS Z9110によれば、通常の部屋の明るさは100Lx程度、読書などでも、1000Lx前後でよいとされている。この程度の明るさで人間の場合は問題がない。ところが、多くの植物はもっと強力な光を必要とする。夏の晴天時は10万Lxもあり、多くの植物光合成の光飽和点は5万Lx以上である。この違いを正しく理解できてないことも、弱い強度の人工光で何でも栽培できると勘違いする原因とも思われる。

正確に言えば、植物が必要とする光をLxで表現することは正しくないが、照度の単位Lxから植物光合成の光の単位、PARや光量子数への変換は光源ごとに変換係数が求められており、この係数を使って変換は可能である。太陽光の場合、ASHRAE Handbook Fundamentals (1985)によれば、PARへの変換値は $1\text{W}/\text{m}^2=183\text{Lx}$ 、光量子数への変換には $1\text{W}/\text{m}^2=3.4 \cdot \text{mol}/\text{s}/\text{m}^2$ となっている。

植物群落内の光の減衰を数値的に明らかにしたのは門司と佐伯（1953）であり、あまりにも有名なもので、ここでは文献としてあげることはしないが、植物群落内で光は指数関数的に減衰するというものである。ちょうど、放射能がコンクリート壁内で減衰するのと同じで、Lambert-Beerの法則に従う。高倉（1976）は植物工場システム調査委員会の報告書でもそのことを指摘している。

施設園芸先進国として歴史が長いオランダでは、昔から、誰でも知っていることであるが、温室内の光透過率が1%減少すると収量が1%減少すると言われている。緯度が高く、冬季の日射量が少ない国の至言である。そのため太陽光ができるだけ温室内

に入るようにいろいろと工夫してきた。温室軒高が高く、できるだけフレームなど光遮蔽物を少なくしガラス面積を増やすなど、過去の温室形状の変化を見れば明らかである。

b) 温度勾配

光の減衰が一番大きな問題であるが、さらに大きな温度勾配が生ずることも報告されている（杉ら1968）。温度勾配が生ずれば、当然、湿度勾配も生じる。このような環境条件では、たとえ植物を常時移動させても正常な生育を期待するのは無理であった。

c) その他

いずれのシステムにおいても、ベルトコンベア式に植物が移動し、栽培管理が一カ所でできるようになっているが、移動させるためにはすべて鉢ないしはトレイ栽培となり、給水した鉢やトレイからのボタ落ちが、下に位置する植物の病気の原因になる危険性が大きく、また栽培は鉢物に限られて、移動させるために背丈のある植物は栽培が困難である。

エネルギー問題

垂直農場が都市農業（Urban Farming）の一環として取り上げられているが、立体的生産を抜きにすれば、都市での緑の生産はヒートアイランド現象の解消、地産地消でのFood Mileageの短縮、憩いの場の拡張、さらに廃棄物、排水の再利用など多くの重要な問題を含んでいることは言うまでもない。しかし、その場合でも、基本はいかに太陽を効率的に利用するかが重要である（Takakura 2013）。

おわりに

垂直農場のバーチャル画像を見たとき、一番にバピロンの塔を思い出した。ただ、その場合は、すでに建築工学などで、提案されている高層住宅で各階のテラスを大きくして人工地盤として緑を植えるというものに近く、その階全体で植物生産をするというものではない。

垂直農場を画期的な手法ととらえる動きが散見され、驚くとともに、ある意味、過去の経験から警鐘を鳴らす意味で、まとめた。立体栽培には3つのタイプがある。高層住宅の屋上や日当たりのよいテラスを利用した家庭園芸、展示会などでのショーケース、垂直農場である。前二者は収量や栽培期間

で後者とは大きく異なる。また、各階で人工光による照明を用いるのであれば、立体栽培を採用する意味はまた別のところに存在する。すでにこれまでも過去の研究を精査する必要があるという意味で同様な見解を述べているので（高倉 2009, 高倉 2011a), 併せて参考にしていただければと思う。

オランダや韓国では作物別に大学の研究者、企業それに匠の技をもつ生産者が一体となって栽培研究を推進しているという。我が国では産地間競争が激しく、また機構上、このような共同研究は行われていない。スマートアグリという言葉だけが先行している感じがしてならない。

参考文献

- ASHRAE 1985. ASHRAE Handbook Fundamentals SI Edition. 1. 1-39. 4.
 Despommier, D. 2013. <http://www.verticalfarm.com/>.
 Gordon-grafts 2013. <http://inhabitat.com/gordon-grafts-skyfarm-for-toronto/>.

- Skygreen 2013. <http://skygreens.appspot.com/products/>.
 杉 二郎・立花一雄・太巻光彦・高倉 直 1965. 温室の空気調和. 空気調和と冷凍 5 (11): 36-46.
 杉 二郎・立花一雄・ト蔵建治・高倉 直・古在豊樹 1968. タワー温室の環境について. 生物環境調節 5: 14-20.
 高倉 直 1975. 栽培工場のシステム制御. 計測と制御 14: 460-471.
 高倉 直 1976. 立体栽培における光の問題, 植物工場システムに関する調査報告書. 日本電子工業振興協会 51-A-96: 112-126.
 高倉 直 2009. 今, なぜ植物工場か ―食糧とエネルギー自給の Autonomous House プロジェクトを―. 農業および園芸 84 (11): 1063-1067.
 高倉 直 2011a. 過去の研究に何を学ぶのか. ハイドロポニックス 24 (2): 22-23.
 高倉 直 2011b. 篤農家技術への挑戦 ―匠の技はコンピュータで誰でも再現できるのか―. 農業及び園芸 86 (5): 514-517.
 Takakura, T. 2013. Harvesting the sun efficiently. Academia J. of Agr. Research 1(12). <http://www.academiapublishing.org/ajar>.

本稿に関する問い合わせはこちらまで

E-mail: takakura@nagasaki-u.ac.jp

シリーズ21世紀の農学

地球温暖化問題への農学の挑戦

日本農学会編

定価 2,000 円 (税込)・A5 判 211 頁・送料 290 円

[要目]

はじめに

- 第1章 地球温暖化の現状と対処: 土地を守る人への期待
 - 第2章 気候変化がイネを中心とした作物栽培におよぼす影響と適応策
 - 第3章 地球温暖化が水産資源に与える影響
 - 第4章 農業における L C A ― 農の温暖化評価とその活用 ―
 - 第5章 バイオ燃料生産と国際食糧需給問題
 - 第6章 バイオ燃料と食糧との競合と農業問題
 - 第7章 農耕地からの温室効果ガス発生削減の可能性
 - 第8章 わが国での反すう家畜の消化管内発酵に由来するメタンについて
 - 第9章 森林分野の温暖化緩和策
 - 第10章 炭素貯留源としての木材の役割と持続的・循環的な国産材利用
- シンポジウムの概要

シリーズ21世紀の農学
地球温暖化問題への農学の挑戦

日本農学会編



◆
農 学 堂