個人研究

大谷光瑞の提唱する「熱帯農業の奥義」に関する農学的検証

玉　井　鉄　宗

1．はじめに

大谷光瑞師（1876—1948）は、仏教徒のリーダーであることを自覚しつつ、日本やアジアのあり方を考究し、それを実行に移した希有な宗教家であり政治家であり探検家であった。したがって、光瑞師を宗教学的、歴史学的、考古学的な観点から研究した例は多い。一方、光瑞師は農業の重要性を訴え、インドネシアや台湾等で自ら農園を経営し、農学研究に勤しんだことはあまり知られていない。農業に対する光瑞師の思いは、晩年のパスポートにも現れており、その職業欄には「農業」と明記されている[1)]。

大谷光瑞年譜[2)]をもとに、農園のあった国への渡航回数を抽出し、時代ごとに並べてみると、光瑞師の農業活動の全体像が見えてくる。本願寺門主時代においても、1909年に二楽荘が竣成してからは、敷地内の温室でメロンや観賞植物の栽培に着手し始めていた。本格的に農業に注力し始めたのは、門主退任後で、シンガポールでのゴム栽培、インドネシアのセレベス島でのコーヒー栽培、インドネシアのジャワ島でのシトロネラ・野菜栽培や養蚕、トルコでのバラ栽培、台湾での茶・野菜・果物・サトウキビ栽培まで、少なくとも32年以上農業に従事したことになる[3)]。

長きに渡り農園を経営し、作物栽培の研究を行ってきた光瑞師は、自身の経験・研究の集大成ともいえる大著『熱帯農業』を1942年に発行した。これは、大谷光瑞興亜計画（全10巻）のうち第６巻から第９巻を占める第15篇熱帯農業の部を、光瑞師の意向により別巻一冊にしたものである。本著作の序文は、「農は国の本なり。」から始まる。さらに、工業を盛んにして国の中心にしようとするようなものは愚論であると断言し、「人食なくば死す。人なくば国存せず。国に本たるや工に非ずして農に在るは疑を容れず。」と続く。序文から、光瑞師の農業に対する熱意と、工業立国を目指す日本を憂う強い思いが伝わってくる。本篇の内容は、土壌学、植物栄養学、植物育種学から気象学にいたるまで多岐にわたり、発行から70年以上たった現在においても十分に農学書として通用しうるものである。

しかしながら、「熱帯農業の奥義」(76頁) には不可解な記述が見られる。「熱帯農業の奥義は、開渠と緑肥にあり。この両者を工みに実行せば勝を得る事易々たり。」がそれである。緑肥は現在でも持続可能な農業においては欠くことのできないものとして様々な観点から研究がなされている。一方、開渠 (蓋のない溝) は、給水・排水の目的以外には通常利用されない。しかし、光瑞師は、この開渠こそが重要であるとし、「立体農法」と名付けられた奇妙な農法を紹介している。一般に現代的な「立体農法」は、樹高の高い有用樹木と草丈の低い作物を混作する農法や、畜産と組み合わせた有機的循環型複合農法を示すことが多い。しかし、光瑞師の提唱する「立体農法」は、畝と畝の間に深い溝 (180cm以上) を掘り、その側面から光・熱・気を土壌に吸収させることにより作物の良好な栽培が可能になるという農法である。「現に台湾製糖での大量生産を支えているのはこの農法であり、その有効性を台湾中に説いて廻っても、これを知らないばかりか必要ないと判断された」と光瑞師は嘆いている。万事に対して論理的で実証主義的な姿勢を貫く光瑞師だけに、この農法の有効性がただの思い込みであるとは考えにくい。

そこで本研究は、光瑞師の提唱する「立体農法」の作物生産における有効性を農学的に検証することを目的としており、光瑞師の先駆的農学者という新規な側面に光を当てるものである。

2．材料および方法

(1) 供試植物

土壌栽培試験においては、キビ (*Panicum miliaceum*) を用いた。光瑞師は、「立体農法」の台湾製糖での実績について述べているため、栽培作物はサトウキビ (*Saccharum officinarum*) であると考えられる。キビはサトウキビと同種ではないが、光合成様式 (C_4型光合成) が似ており、環境ストレスにも強く、比較的小型であるため、規模を縮小した実験には適していると判断した。

水耕栽培試験においては、オオムギ (*Hordeum vulgare* L. Wasedori) を用いた。オオムギは、穀類のモデル植物であり、水耕栽培法も確立している。

(2) 実験圃場

実験圃場は、奈良県吉野郡天川村の畑地を使用した。実験圃場の土壌の化学性は表1に示す。表層土 (0～20cm) を採取し、風乾させたのち、2㎜の篩を通過した土壌を分析した。土壌pHに関しては、風乾土壌10ｇに対して蒸留水25mlを加え、またEC (電気伝導率) に関しては、風乾土壌10ｇに対して蒸留水50mlを加えて1時間振とう後、懸濁液について測定した。全窒素・炭素は、全自動元素分析装置 (エレメンタール　VarioMax Cube) を用いて定量した。

表１　実験圃場土壌の化学性

pH (H_2O)	EC (mSm^{-1})	全窒素量 (gkg^{-1})	全炭素量 (gkg^{-1})	C/N 比
6.9	12.1	4.0	55.1	13.6

（３）「立体農法」の再現

光瑞師が有効性を主張する「立体農法」は、熱帯性気候である台湾南部（屏東）において、畦畝の間に180cmの深い溝を開削して行われたサトウキビ栽培についてである。しかし、それを忠実に再現することは現実的に難しいため、疑似熱帯環境下で、規模を縮小して検証実験を行った。

実験圃場は十分に深く耕耘し、幅25cm、奥行き150cmの栽培領域を残して両側に深さ80cmの溝を開削した。栽培領域には播種後20日の生育の揃ったキビ幼植物を一列に10個体移植した後、ビニールシートで被い、スプリンクラーを設置し午前８時と午後５時に自動的に灌水させて、高温多湿の熱帯性気候を再現した。対照として、溝は開削しないが他の条件は全て同じ領域を溝から約１ｍ離れた位置に設け、キビ幼植物を一列に10個体移植した（図１、写真１）。移植

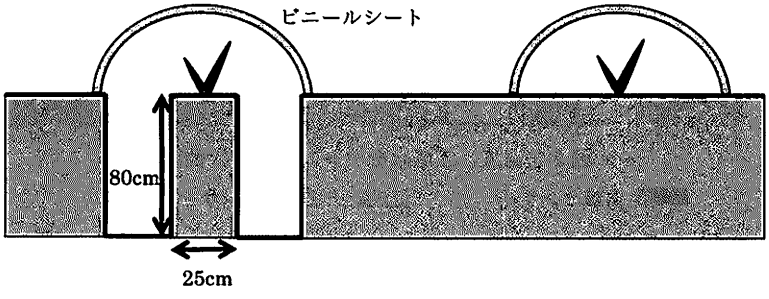

図１　立体農法再現実験の模式図
圃場の土壌断面を側方から見た模式図である。左側が立体農法によるキビの栽培、右側が対照実験としてのキビの栽培の様子を示している。

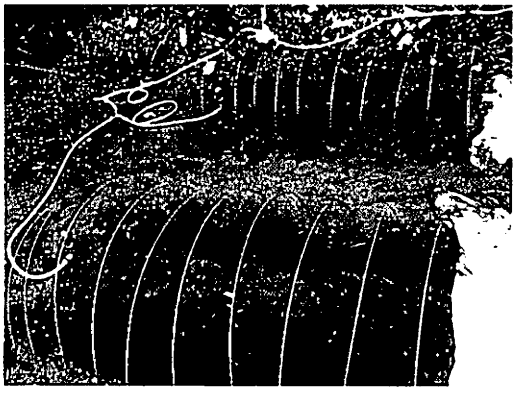

写真１　規模を縮小した立体農法の再現
写真右端に見えるのがビニールシートであり、これで溝を含めた栽培領域全域を被う。左端にあるのがスプリンクラーであり、自動的に均等な灌水が行われるよう調節している。

してから27日後に、キビのサンプリングを行った。キビの根が痛まないように土壌から抜き、丁寧に根を水洗いした後、余分な水分を除いて地上部、根部の新鮮重を測定した。

（4）土壌温度、土壌水分含量の測定

土壌中の温度は、温度センサー（NKラボラトリーズ　サーモサイクロンGタイプ）をアルミ製の筒（直径3cm、高さ2cm）に入れ、さらに密閉チャック付きのポリエチレン袋（横5cm、縦7cm）に入れて、目的の深さの土壌に埋め込むことにより測定した。この温度センサーを15分おきに温度が記録されるよう設定した。また、土壌水分含量は、データロガー（WatchDog 1000シリーズ）に接続した土壌水分センサー（WaterScout SM100）を目的の深さの土壌に差し込むことにより測定した。データロガーを15分ごとに数値が記録されるように設定した。温度、土壌水分含量は、溝の有無に関わらず、地表から5cm、10cm、20cm、50cmの深さで測定した。温度は地表面（0cm）でも測定した（図2）。

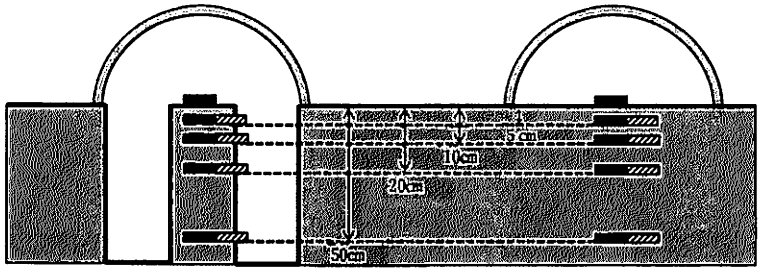

図2　温度、土壌水分センサーの挿入位置

温度センサー　　土壌水分センサー

（5）水耕栽培法

オオムギの種子は、2時間水道水に浸漬し、ろ紙上で暗所、28℃で一晩発根させた。発根した種子を、水道水に浮かべたプラスチック製のネットの上に並べ、乾燥を防ぐために湿ったろ紙で種子を被い、暗所、28℃で1日インキュベートした。ろ紙を除いた後、引き続き暗所、28℃で1日インキュベートし、播種後3日目の幼植物を、条件を変えた水耕栽培に供した。水耕液としては、共通して脱塩水で0.1mM $CaSO_4$水溶液（pH5.6）を調製したものを用い、酸素供量を制限する時以外は、常にエアーポンプで通気した。播種後3日目の幼植物を人工気象器（日本医化器械製作所　LPH-1P-NC II）内で5日間栽培した。その環境条件は12時間明期、12時間暗期、気温は25℃に設定した。

根圏温度を変えることができる水耕栽培装置は、発泡スチロールの箱を栽培容器とし、投げ込み式ハンディクーラー（トーマス科学　TRL-107NHF）と投げ込みヒーター（トーマス科学　500W)、それらを制御する温度調節器（トーマス科学　TC-107）を用いて構築した（図3)。播種後3日目のオオムギ幼植物を、ポリエステルウールで種子部を包み、発泡スチロー

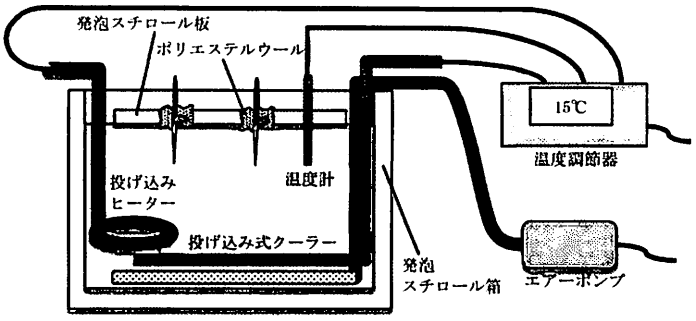

図3　根圏温度を変えることができる水耕栽培装置の模式図
本装置は、±1℃の精度で根圏温度を自由に変化させることが可能である。

ル板の穴に入れ固定し、培養液上に浮かべた。移植5日後に、水耕栽培装置からオオムギ幼植物を取り出し、根の余分な水分を拭き取ってから、地上部、根部の新鮮重を測定した。

3．結　果

（1）立体農法がキビの生育に与える影響

規模を縮小し再現した「立体農法」により、移植27日後のキビの生育は、溝を掘らない栽培法と比較して、地上部で約1.6倍、根部で約3倍の著しい新鮮重の増加が認められた（図4 a、b)。立体農法により、地上部では、葉面積が増え、草丈が長くなるだけでなく、発達が促進されていた。溝が無い栽培法では、多くが第5葉までしか展開していなかったが、立体農法で

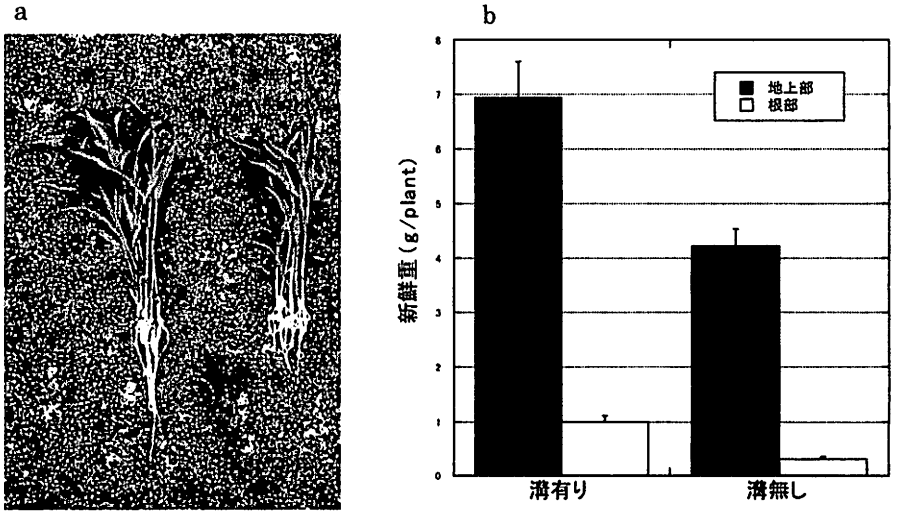

図4　立体農法によるキビの生育促進効果
移植後27日後のキビの写真（a)。溝の有無による地上部、根部の新鮮重の比較（b)。図b中のエラーバーは、標準誤差（n＝10）を示している。

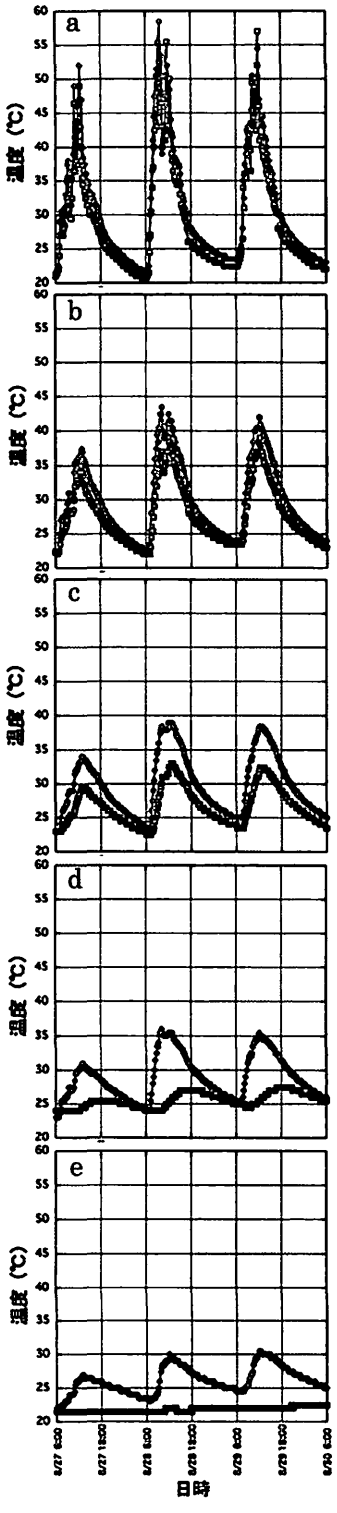

図5　溝の有無による地温の変化

○は溝が有る領域の、□は溝が無い領域の温度変化を示している。地表面の温度（a)、地表から深さ5cmの温度（b)、地表から深さ10cmの温度（c)、地表から深さ20cmの温度（d)、地表から深さ50cmの温度（e）の変化を表している。結果は、2015年の8月27日～29日の晴天であった3日間について示している。

は、第6葉まで展開している個体がほとんどだった（図4 b)。また、根部においては、根の張り具合が全く異なっていた。つまり、溝が無い場合は、根長の短い根が土壌のごく浅い領域に広がっており、個体を簡単に引き抜くことができた。しかし、溝が有る場合は、個体を引き抜くことは難しかった。慎重に根を掘り起こしていくと、根が鉛直下方に伸長し、土壌の深いところ（約20～30cm）まで到達していた。したがって、根部には、新鮮重の差以上に、構造と機能に変化がもたらされていた可能性がある。

（2）立体農法の地温への影響

立体農法によって、キビの生育が促進される原因の一つに、溝が有ることによって地温が上昇することが考えられたため、温度センサーを地表から0cm（地表)、5cm、10cm、20cm、50cmの位置に埋め込み、溝の有無による変化を観測した（図5 a～e)。

溝が有ることによって、明らかな地温上昇が確認された。溝の有無による温度差は、地表から5cmではわずかだが、地表から10cmでは最大5℃、20cmでは最大10℃、50cmでも最大10℃弱程度あることが分かった。溝が無い場合は、深さが増すにしたがって気温（図5 a）に対する応答が低下したが、溝がある場合は、地下50cmにおいてでさえ、気温に応じて変化したため、著しい温度差が生じたと考えられる。

実際に、根圏の温度上昇が植物の生育を促進するのかについて検証した。気温は25℃に固定し、根圏温度のみを15℃、20℃、25℃と変化させてオオムギの水耕栽培を行った結果、根圏温度の上昇に応じて、地上部、根部ともに生育が著しく促進された（図6)。根圏温度が5℃上昇すると、地上部の

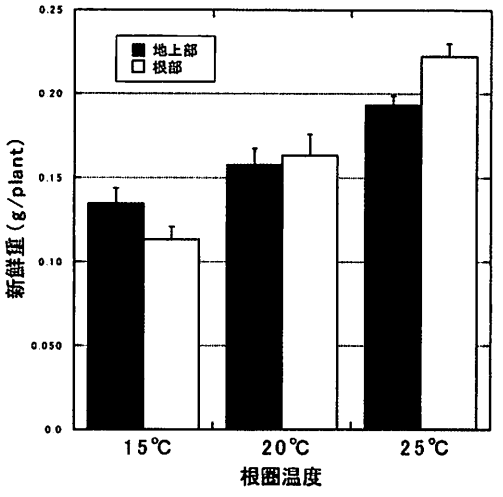

図6　オオムギ幼植物の生育に対する根圏温度の影響
オオムギ幼植物の新鮮重は、根圏温度を変化させて5日後に測定した。
図中のエラーバーは、標準誤差（n=4）を示している。

新鮮重は約1.2倍に、根部の新鮮重は約1.4倍増加した。さらに、10℃根圏温度が上昇すると、地上部の新鮮重は約1.5倍に、根部の新鮮重は約1.8倍も増加した。これらの結果は、立体農法による植物の生育促進の一因は、地温の上昇によることを示唆するものである。

（3）立体農法の土壌排水性への影響

立体農法の効果の一つに、土壌の排水性が向上する可能性が考えられた。温度センサーと同様に土壌水分含量センサーを目的の深さに埋め込み、溝の有無による水分含量の変化を測定し、排水性の違いを比較した。溝が有ることによって、溝が無い場合と比較して、地表付近（5～10cm）の水分含量は低くなり、深部（20cm～50cm）の水分含量は高くなった（図7）。これは、溝が有ることによって、土壌の深くまで水が浸透しやすくなり、結果として地表付近の水分含量が低下し、深部の水分含量が上昇したと考えられた。そこで、灌水後の経時的な土壌水分含量の変化について解析すると、確かに、土壌の透水性が高まっていることが確認できた（図8）。溝が無い場合には，灌水後、深さ10cmまでは透水による水分含量の増加が見られるが（図8 a)、溝が有る場合には、深さ20cmまで透水による水分含量の増加が確認された（図8 b)。溝が有る方が無い方に比べ、水分含量の変化量も大きいため、水の浸透量も多いと考えられた。したがって、溝を開削することによって、栽培領域の排水性が上昇した結果、酸素の供給量が増加することが推測された。

実際に、酸素の供給量が増加すると、生育に促進的効果を与えうるのかを、オオムギの水耕栽培で検証した。エアーポンプで十分に通気をしながら栽培したオオムギと、根部への酸素供給を制限するために、エアーポンプによる通気を停止して栽培したものとの生育比較を行った

(図9)。その結果、十分に通気すると、通気しないものと比較して、地上部では約1.5倍、根部では1.2倍新鮮重が大きくなった。これらの結果は、立体農法により、土壌の排水性が向上し、根部への酸素供給量が増加して、生育が促進される可能性があることを示唆している。

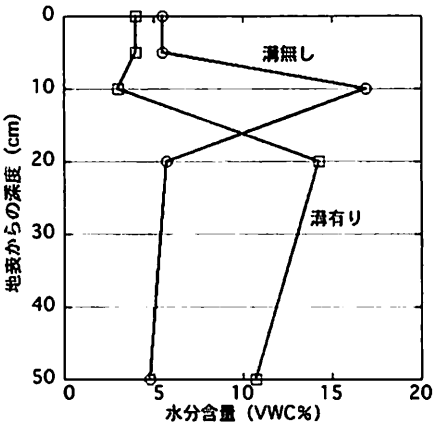

図7　実験土壌垂直断面における水分含量
○は溝の無い領域の、□は溝が有る領域の土壌水分含量を示している。

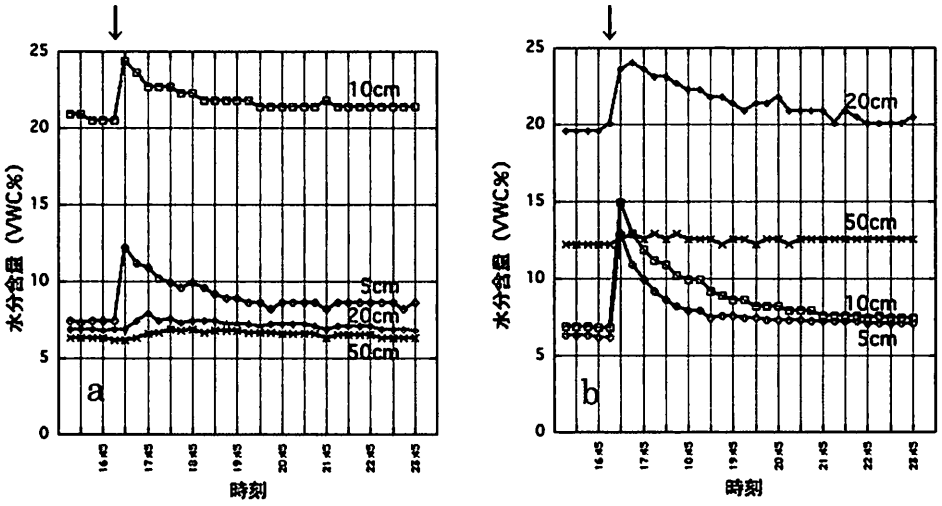

図8　灌水後の経時的土壌水分含量の変化
溝が無い場合 (a)、溝が有る場合 (b) の経時土壌水分含量の変化を示している。図上部の↓は、灌水した時刻 (17：00) を表している。

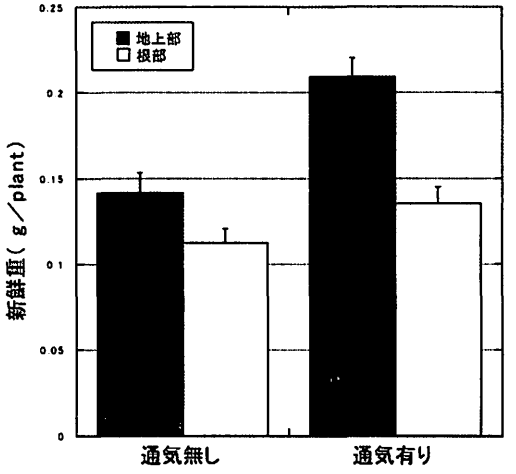

図9　オオムギ幼植物の生育における通気の影響
「通気無し」では、水耕液中のエアレーションをせず、「通気有り」では、十分なエアレーションをして水耕栽培を行った。

4．考　察

（1）先駆的農学者・大谷光瑞師

本研究によって、大谷光瑞師の提唱する「立体農法」が、作物栽培において有効である可能性が示された（図4）。『熱帯農業』中の記述にしたがうと、その生育促進効果は、畝間に深い溝を開削することにより、「側面から光・熱・気を取り込む」（77頁1～2行、78頁5～6行）ためであるとされている。そこで、光の影響についてはまだ検証できていないが、「熱」つまり地温（根圏温度）、「気」つまり酸素供給量（排水性）について、立体農法の影響を検証した。その結果、明らかな地温上昇（図5）と排水性の向上（図7、8）が確認された。加えて、それぞれの因子による生育促進効果を水耕栽培系において実証した（図6、9）。

経験則的に、地温を高めることが作物の増収につながることは知られており、畝にマルチを張ることは地温を高めるための一つの農業手法として定着している（マルチには、雑草防除、水分保持の役割もある）。しかし、学術的に、気温と分離し、地温（根圏温度）と植物の生育の関係を解析した研究例は少ない。気温に対して根圏温度を低く一定に保てば、通常寒冷地で栽培されるレタスが熱帯のガラス室においても栽培可能であること[4]、根圏温度を変化させると、シロツメグサの窒素配分が変化すること[5]、イネにおいて、根圏温度を下げれば、低湿度条件下でも正味の同化速度を維持できること[6]などが報告されているものの、作物栽培における地温の重要性の認知度は低いといえる。しかし、本研究において、根圏温度が上昇するに伴い、オオムギ幼植物の地上部・根部共に著しく新鮮重が増加することが示されたため（図6）、

作物栽培における地温が非常に大きな影響力をもつことが確かめられた。したがって、地温を上昇させ、生育を促進するための溝の開削は、簡便で有効な栽培手法であるといえる。

さらに、溝の開削は、排水性の向上にも効果を発揮し、根部への酸素供給を容易にすることが推測された（図８）。特に、水田転換畑における土壌の通気性は重要で、転換畑作物であるダイズなどの収量を大きく左右することが報告されている[7]。日本の農業政策においては、水田転換作物の栽培が強く推奨されており、排水性の向上のために、大規模な地下水位制御システム（FOEAS）の導入が行われている。そのシステム導入には、高額な設備投資費が必要となるが、溝を開削するだけで、同様の効果が得られるとすれば、立体農法は、シンプルだが画期的な手法であるといえる。

光瑞師は、「溝を深く掘ることは、土地面積を増やすことになる」（78頁11～12行）とも述べており、この深い洞察には驚かされる。溝を開削しない限り、土壌深部は、決して耕作土壌とはなりえない。しかし、溝により露出した側面は、表層土壌と同様に、気温、水、光等の影響を受け耕作土壌化する。その証拠に、本来であれば植物が生育できない溝の深い領域まで、雑草やコケ植物が繁茂していた（写真２）。溝の開削により側面積が増え、耕地面積が増えるということは、立体農法による収量増加は、一種の疎植によってもたらされるとも考えられる。密植に対して疎植は、光、水や養分等をめぐる作物間競争が少なくなるため、一個体当たりの収量は増加する。単位面積当たりの収量は、個体数の減少による収量の減少と、疎植による一個体当たりの収量の増加との兼ね合いによって決定するため、作物の個体密度を適当に設定できれば、限られた耕作地で最大の収量を得ることができる。

光瑞師は、単に立体農法の有効性だけでなく、その科学的根拠まで明確に述べており、かつ、それらの一部が農学的に実証された。以上のことから、光瑞師を、紛れもなく、先駆的農学者として位置づけることができると考える。



写真２　立体農法の再現時における溝側面の状態
写真上部が土壌表層部、下部が深層部である。
溝の深部まで、雑草やコケ植物が繁茂している。

（2）立体農法の現代農業への応用

『熱帯農業』第九章結論には、「熱帯農業は全農業を包含す」（804頁）と述べられている。これは、熱帯農業の奥義が、日本のような温帯農業にも適応しうると解釈することができる。立体農法が、作物栽培において有効な農法であることは示唆できたものの、現実的に、立体農法をそのまま現代農業に適応するには様々な問題点がある。

まず、光瑞師が提唱する「立体農法」が、実際どのようなものであったか分かっていない点が挙げられる。『熱帯農業』中には、立体農法についての記述があるのみで、その写真や図は一切記載されていない。立体農法は、台湾製糖の試験農場において実績をあげていたという記述を頼りに、台湾製糖株式会社関係の資料[8、9]を確認し、インターネット検索も行ったが、立体農法らしき写真や図は結局見出せなかった。畝幅や畝間、溝の形状等の情報が入手できなかったため、写真１や図１に示すような再現を行った。しかし、この大きさ・形状の立体農法は、構造的に脆弱であり強い風雨によって栽培領域が崩壊する可能性が高い。このような危険な栽培方法を実際に現場で行うことは考えられない。おそらく、実際の立体農法は、畝間も広く、溝は緩やかなＶ字のような形状をしていたのではないかと推測する。

次に、現状の機械化農業には適さない点である。現代農業においては、農作業の機械化が必須となっている。どんな形状にしろ２ｍ近い溝を掘ることは機械を使用しなければ不可能であり、その後の播種、施肥、収穫等の作業においても、深い溝は相当の障害となるため、既存の農業機械では対応できない。立体農法を採用するのであれば、新たな農業機械の開発が必要になる。つまり、費用対効果の問題で、立体農法による生産力の向上が、労力や栽培コストを上回るメリットをもたらすかが問題となる。

しかし、立体農法を現代農業に合わせて、その効果のみを発揮させる農法へと変化させれば、十分に応用可能であると考える。立体農法の一番の問題は、深すぎる溝の開削にある。光瑞師が提唱する「立体農法」は、サトウキビを対象としたものである。サトウキビは、草丈が２ｍ以上、根長は１ｍを超える大型の作物であり、そのため、２ｍ近くの深い溝が必要であった可能性が高い。日本の畑地で作られているダイズ、ムギ等の畑作物は比較的小型であり、根長はせいぜい20～30cmであるから、根長の約２倍の深さの溝が必要であると仮定すると、必要な溝の深さは40～60cm程度と考えられる。その程度の深さであれば、長芋やゴボウの収穫に使用されるトレンチャーを用いれば、機械的に溝を開削でき、農作業の障害にもなりにくい。

さらに、立体農法によって生じる土壌の物理化学的変化は、農業資源の節約に寄与できるかもしれない。深い溝に挟まれた畝は、隔離された栽培領域を形成する。そこでは、水や肥料は拡散せず、鉛直方向にしか移動しないため、栽培領域に生育する作物のみに効率的に利用される。化学肥料価格の高騰、世界的水不足が懸念されているなかで、それらの使用量を最小限にできる意義は大きい。また、過剰施肥による肥料成分の流出や、特定成分の土壌蓄積なども防ぐことができる。さらには、地温が上昇することから、堆肥等の有機肥料が容易に分解され、

遅効性肥料である有機肥料が即効性肥料として利用しやすくなるだろう。総合すれば、立体農法は、環境負荷の小さな循環型農業に大きく貢献できる可能性を秘めている。

立体農法における深耕によって、単位面積当たりの生産力の向上も期待できる。毎年、立体農法をくり返して行うと仮定すると、慣行農業よりも深い耕耘（超深耕）を毎年くり返すことになる。通常は、耕作土壌として地表から20～30cmしか用いることができないが、超深耕により、地中深くまでの土壌が全て耕作土壌に変わる。溝の開削によって耕地面積が数倍になり、耕作土壌も数倍に増加することから、単位面積当たりの地力は相乗的に上昇すると考えられる。特に、耕作地面積の少ない日本においては、小さな畑地を立体的に活用して、生産力を向上させる一つの手段になりえるかもしれない。

しかし、立体農法の現代農業への応用に向けては、作物の種類や土壌の物理化学性、栽培地の気候に応じた改変が必要であり、残されている課題は多いため、今後更なる研究が必要である。

5．まとめ

大谷光瑞師の農業活動を年代順に整理することにより、1942年に発行された『熱帯農業』が、光瑞師の長年にわたる農業研究の集大成的著作であることが明らかとなった。その中に記載された「熱帯農業の奥義」、とりわけ深い溝を掘る「立体農法」の有効性を農学的に検証した。実験作物としては、環境ストレスに強いキビを用い、ビニールシートで栽培領域を被い、自動灌水して高温多湿の熱帯性気候を再現し栽培を行った。その結果、栽培領域の両側に80cmの溝を掘ることにより、溝を掘らない場合に比べ、地上部では約1.6倍、根部では約３倍もの著しい新鮮重の増加が確認された。地中に温度センサーと水分センサーを埋め込み観測した結果、深い溝により、明らかな地温の上昇と排水性の向上が確認できた。オオムギの水耕栽培を用いて、根圏温度に10℃の温度差（気温は25℃で一定）をつけて栽培した結果、根圏の温度が10℃高いと、地上部の新鮮重は低いものに比べ約1.5倍増加し、根部は約1.8倍増加した。また、溝が無いと、水は地中の浅いところを広がっていくが、溝があることにより地中深くまで浸透し、結果、根圏領域の排水性が良くなっていることが推測された。このことは、溝によって根圏への酸素の供給量が上昇することを意味する。オオムギを用いた水耕栽培においても、根圏へ十分酸素を供給すると、地上部で約1.5倍新鮮重が増加し、根部は約1.2倍増加することが明らかとなった。よって、立体農法による作物生育促進効果の原因は、地温上昇と根圏への酸素供給量の増加が一端を担っていると考えられた。以上の結果は、「立体農法」は、作物栽培において有効であることを示唆すると同時に、それを提唱した大谷光瑞師が先駆的農学者であることを証明するものである。

資料・参考文献

1）龍谷大学 国際学部 三谷真澄教授提供「1940年インドネシア渡航時の大谷光瑞パスポート写真」青森・光行寺蔵（仁本正恵氏旧蔵）
2）柴田幹夫 『大谷光瑞の研究―アジア広域における諸活動』（勉誠出版 2014）
3）別表参照
4）He J, Lee SK, Dodd IC. Limitations to photosynthesis of lettuce grown under tropical conditions: alleviation by root-zone cooling. J Exp Bot 2001; 52: 1323-1330.
5）Castle ML, Crush JR, Rowarth JS. An experimental method for varying root temperature independently of shoot temperature. New Zealand J Agr Res 2006; 49: 157-162.
6）Kuwagata T, Ishikawa-Sakurai J, Hayashi H, Nagasuga K, Fukushi K, Ahamed A, Takasugi K, Katsuhara M, Murai-Hatano M. Influence of low air humidity and low root temperature on water uptake, growth and aquaporin expression in rice plants. Plant Cell Physiol 2012； 53(8)：1418-1431.
7）阿江教治『土壌空気と作物生育―水田転換畑における大豆栽培を中心として―』土壌の物理性 1985；第51号：3-8.
8）伊藤重郎編『臺灣製糖株式會社史』 臺灣製糖株式会社 1939.9
9）『創立拾五週年紀念寫真帖』 臺灣製糖株式会社 1915.11

【別表】表中の数字は渡航回数を示している。

西暦	1876	1902	1903	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1947	1948
和暦	明治9	明治35	明治36	明治37	明治38	明治39	明治40	明治41	明治42	明治43	明治44	明治45	大正2	大正3	大正4	大正5	大正6	大正7	大正8	大正9	大正10	大正11	大正12	大正13	大正14	昭和元	昭和2	昭和3	昭和4	昭和5	昭和6	昭和7	昭和8	昭和9	昭和10	昭和11	昭和12	昭和13	昭和14	昭和15	昭和16	昭和17	昭和22	昭和23
二楽荘（メロン・観賞用植物栽培）	誕生		本願寺住職継職											本願寺住職辞職																												『熱帯農業』発行	満州から引揚げ	遷化
シンガポール（ゴム栽培）															2	1				1	1	1	1	1			1																	
セレベス島（コーヒー栽培）																		1	1	1		1		1																				
ジャワ島（シトロネラ・野菜栽培・養蚕）																				1		1	1	1	1		1			2	1	1		1					1	1				
トルコ（バラ栽培）																										2		1	1															
台湾（茶・野菜・果物・サトウキビ栽培）																																		1	2	2	3	3	3	3	3			
備考		第一次大谷探検隊						第二次大谷探検隊 二楽荘竣成		第三次大谷探検隊					二楽荘売却																									『大谷光瑞興亜計画』発行 『熱帯農業』執筆終了 逍遥園開園			