

東北タイにおける土壌水分を利用した野菜の節水栽培方法
に関する研究

(Study of a Water-Saving Cultivation Method for Vegetables by
Using Soil Moisture in Northeast Thailand)

小田正人

2010

目 次

序 論	6
第1章 日本の篤農技術の東北タイにおける適用性.....	9
摘 要	9
緒 言	10
材料及び方法	12
1. 耕種概要	12
2. 調査項目	13
3. 土壌の乾燥程度とかんがい水の浸透状況の確認	13
4. 降水の影響のシミュレーション	14
結 果	14
1. 気象経過	14
2. 土壌の乾燥程度とかんがい水の浸透状況の確認	16
3. トマトの生育	19
4. 降水の影響のシミュレーション	25
考 察	27
1. 乾燥環境への順化	27
2. 収量性	28
3. 水分バランス	28
小 括	31
第2章 農民参加型技術開発手法による節水野菜栽培法の開発.....	32
摘 要	32
緒 言	33
材料及び方法	34

1. 発明モデル	34
2. 知識技術の実装	37
3. マザー・ベビー法の改変	40
4. 実施サイトおよび実施手順	42
5. 調査項目	42
結果及び考察	43
1. 農家の反応	43
2. 改変内容	43
3. 気象経過	46
4. 収量および灌水レベル	46
5. 節水栽培に影響を及ぼす要因	48
6. 農家による節水栽培技術の評価	49
7. 従来型技術開発との比較	53
小 括	55
第3章 土壌水分シミュレーションによる節水野菜栽培技術の適用性評価	56
摘 要	56
緒 言	58
研究手法	58
1. 圃場試験	59
2. モデルの概要	60
結果及び考察	64
1. 雨季終了後の土壌水分の変化	64
2. 節水栽培のシミュレーション	67
3. 土壌タイプ別の節水栽培シミュレーション	71
小 括	73

第4章 東北タイ砂質土壌地域における乾季の土壌水分動態	74
摘要	74
緒言	76
材料及び方法	76
1. 調査サイト	76
2. 調査方法	78
結果	81
1. 調査年の降水量	81
2. 小流域の平均土壌水分の推移	82
3. 地形の影響	85
4. 第4項 植生の影響	88
考察	90
1. 乾季の残存土壌水分	90
2. 土壌水分変動の主因	90
3. 乾季の有効土壌水分量	94
小括	94
総括および結論	96
1. 節水栽培の成立要因	96
2. 節水栽培における栽培管理	97
3. 東北タイ砂質土壌地域における節水栽培の適地	98
4. 結論	99
引用文献	101
総摘要	105

東北タイにおける土壌水分を利用した野菜の節水栽培方法に関する研究

小 田 正 人

序 論

「湖、沼、河川のような使用しやすい形で地表に存在する淡水は、地球上の水のわずか0.008%に過ぎない」との世界気象機関の報告（Shiklomanov, 1996）は広く知られている。同報告では、その貴重な水の約7割が農業用水として使用されていることが指摘されている。農業生産において水は不可欠の資源であり、その資源確保と有効利用には幾多の努力が積み重ねられてきた。しかし今日、水資源開発は限界に達しつつあり、利用効率の向上に関する技術の重要性が増している。

水の利用効率の向上に関する技術は乾燥地で発達が目覚ましい。点滴かんがいはその代表的なもので、土壌面蒸発ロスが小さくなる結果、かんがい水量をスプリンクラーの5分の1程度に効率化することができるとされている（山本, 1998）。他方、比較的降水量が豊富な地域にあっては異なるアプローチが存在する。日本の篤農家、永田照喜治は、高品質野菜の栽培法を追求する過程で、慣行の100分の1の灌水量でトマトを栽培する技術を開発し、長年にわたる栽培実績を有している（永田, 1987）。その技術は、雨よけハウスと高畝による土壌の湿潤防止のもとで実践されたものであり、単純に日本の湿潤な気候環境の産物と決めつけることはできない。この栽培法では、極端な節水の影響で葉に強い巻き上がりが見られる、直根が消失しマルチ下に水平に根が広がるなど作物の草姿が変化し、収穫物の糖度をはじめとする品質が向上するとされている。もとより永田の農法は節水を目的としたものではなく、高品質を追求する過程でたまたま節水となったものであるが、作物の乾燥環境への順化を利用した野菜の節水栽培法として興味深い。

厳しい乾季を有する東北タイは、東南アジアでも最も貧しい地域のひとつで

ある。タイ政府はこの地域への貧困対策として、個々の農家に 30m×20m×2.5m 程度の小規模ため池の造成を進めている。ため池の利用目的のひとつは 10 月から 3 月にかけての乾季における野菜生産である。しかし、ため池の多くは養魚にも使用されており、池の水深は池の水温が高温になって魚が死ぬのを避けるために、乾季の終わりに 1.5m 程度を確保しておく必要がある。乾季は 10 月中旬からおよそ半年つづくため、日平均約 6mm の水面蒸発を考慮すると、実際に野菜生産に使用できる水は極めて少ない。乾季の野菜慣行栽培では毎日朝と夕の 2 回灌水が行なわれており、養魚との両立は極めて困難な状況にある。加えて東北タイは一般に集居集落であり、圃場まで徒歩で数十分かかることも希ではなく、野菜栽培は時間的にも、労力的にも負担が大きい。節水栽培技術は水資源の効率的利用とともに灌水労力の軽減の面でも極めて重要である。

本研究は、国際農林水産業研究センターのプロジェクト研究「インドシナ天水農業地帯における農民参加型手法による水利用高度化と経営複合化（天水農業）」において、東北タイの小規模農家を対象にした野菜の節水栽培技術の開発を目的として実施された。実施にあたり未だ研究例がなく、かつ大きな可能性をもつ作物の乾燥環境への順化を利用した野菜の節水栽培法の適用を試みた。その理由は、まず第 1 に特別な装置を必要としないため、資本力のない農家でも導入可能であるということ、第 2 に慣行の 100 分の 1 の灌水量という節水レベルがもし可能であれば、小規模ため池であっても多様な展開が可能になるからである。

本研究の構成は以下の通りである。まず、第 1 章「日本の篤農技術の東北タイにおける適用性」では、日本で実績を有する節水栽培法が、東北タイの厳しい乾季においても適用可能であるかどうかを、現地研究機関の試験圃場における栽培試験により確認しようとした。つぎに、第 2 章「農民参加型技術開発手

法による節水野菜栽培法の開発」では、農家の圃場環境、資本力、労働力、経営規模、志向性等の多様性に即した実用技術の開発を、新たに考案した「発明モデル」による農民参加型技術開発手法を用いて試みた。第3章「土壌水分シミュレーションによる節水野菜栽培技術の適用性評価」では、栽培試験における土壌水分収支が豊富な利用実績のあるシミュレーションによって再現し得るか否かによって栽培試験結果の一般性を検討した。これはシミュレーションという手法が基本的な一般法則をもとに構築されていることを応用したものである。加えて、土壌水分環境に関して試験地以外の土壌タイプで成立可能かどうかについても検討した。そして第4章「東北タイ砂質土壌地域における乾季の土壌水分動態」では、農家の現実の栽培環境である小流域の土壌水分の動態を、シミュレーションではなく実測により網羅的にモニタし、土壌水分量の実態を明らかにするとともに、土壌水分量の違いをもたらす要因を検討し、節水野菜栽培の適用性を検討した。

第 1 章 日本の篤農技術の東北タイにおける適用性

摘 要

日本の篤農による作物の乾燥環境への順化を利用したトマトの節水栽培法の適用性を、2003 年 12 月から 2004 年 4 月にかけての東北タイの乾季において検討した。畝幅 1m 長さ 30m の試験区を 2 つ作り、一方をマルチで覆い、隣接個体の影響を受けないよう 1m 間隔でトマト (*Lycopersicon esculentum* Mill cv. Seeda) を定植した。試験圃場の土質は壤質砂土であった。灌水は定植時、定植 16 日目、同 35 日目に各株 250ml 施した。ただし、後半の 2 回は液肥(NPK: 120-90-60 ppm)で施した。対照区は週 3 回水 250mL を施用した。試験開始時の作土は極度に乾燥していたが、土壌水分量は定植後 11 日目の 29mm の降水により一旦圃場容水量に達した。その後 55 日間は殆ど降水が無かった。開花期の根系は、無マルチ区が土中深く伸長していたのに対し、マルチ区および対照区は地表付近に根群を形成しており、とくにマルチ区は根域が水平方向に広がった。対照区では果実のブリックス糖度が 4 であったのに対し、処理区では糖度が 7~8 と上昇していた。生育は個体間差が非常に大きく、個体当たり収量は、マルチ区で 0~388g, 無マルチ区で 0~65g, 対照区で 0~210g の間に分布した。生育差及び枯死個体の出現は養分不足等水分以外の要因によると見られた。マルチ区の最大収量は、標準栽植密度に換算すると $1035 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ となり、同年の現地平均収量 $1133 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ に近く、試験結果は、東北タイの乾季においても、少なくともマルチを使用すれば、ほとんど灌水することなく、トマトが栽培できる可能性を示すものであった。

キーワード： 乾季, 順化, 壤質砂土

緒 言

日本の篤農家、永田照喜治は、慣行の 100 分の 1 の灌水量で高品質トマトを栽培する技術を開発し、長年にわたる栽培実績を有している。その技術のポイントは、雨よけハウスと高畝による土壌の湿潤防止、マルチ、少ない灌水および灌水量で育成した健苗、低濃度液肥の使用である。液肥は約 1000 倍に希釈して用い、総施用肥料分量は慣行の約 10 分の 1 である。この栽培法では、極端な節水の影響で葉に強い巻き上がりが見られる、直根が消失しマルチ下に水平に根が広がるなど作物の草姿が変化し、収穫物は糖度をはじめとする品質が向上するとされている（永田，1987）。もとより永田の農法は節水を目的としたものではなく、高品質を追求する過程でたまたま節水となったものであるが、作物の乾燥環境への順化を利用した野菜の節水栽培法として興味深い。

節水栽培は、穀物に関しては、従来から高い関心が寄せられてきた研究分野であるが、野菜は園芸作物であることから極めて研究例が少なかった。しかし、近年の水資源に関する関心の高まりを反映してか、野菜に関する節水栽培も急速に研究が増加する傾向にある。ISI Web of Knowledge all Databases で”water saving vegetable”をキーワードに検索した結果、1979 年から 2007 年の 29 年間で 85 件の報告があったが、2003 年以降の 5 年間のものが 46 件であった。トマトに関する報告では、ドリップかんがいの、主として表面流去水による損失防止効果による水利用効率の向上 (Costa and Ortuno, 2007)、畝間かんがいを 1 畝おきに行う Partial rootzone drying による灌水量の半減による水利用効率の 83% 向上 (Zegbe *et al.*, 2007)、などの報告が見られる。しかし、いずれも水ストレスを与えない栽培を出発点とするアプローチであり、作物の乾燥順化を積極的に利用する視点に立った研究は見当たらない。

永田の栽培法のように高品質トマトが慣行の 100 分の 1 の灌水量で栽培できれば、乾燥地や天水農業地域などで大きな意義がある。一例を挙げると、東北タイでは農村

部の貧困対策として、ため池を利用した自給水稻、養魚、野菜栽培等による複合農業が目指されており、政府が個々の農家に30m×20m×2.5m程度の小規模ため池の造成を進めているが、現状では、乾季における野菜栽培は普及していない。東北タイでは乾季中ほとんど降水がなく、日射量も多いため、野菜栽培は毎日朝と夕の2回灌水を行うことが慣行となっており、野菜栽培には大量の水資源が必要である。しかし、ため池の多くは養魚にも使用されている。養魚では池の水温が高温になって魚が死ぬのを避けるために、乾季の終わりに1.5m程度の水深を確保しておく必要があり、日平均約6mmの水面蒸発を考慮すると、野菜栽培に実際に使用できる水は極めて少ない。そのため慣行の灌水量では、養魚との両立は難しく、一般には養魚の方が野菜作より優先されている。水資源の競合に加えて、灌水労力の問題も重要である。東北タイは一般に集居集落であり、圃場まで徒歩で数十分かかることも希ではなく、たとえ自家用野菜程度の小面積であっても朝夕の灌水は時間的負担が大きい。とりわけ小農は、他の農家のサトウキビの収穫を手伝って歩合制で収入を得ているため、自家用野菜でさえ、栽培するより村内の店で購入する方が合理的である。このように水資源の競合と灌水労力の問題は深刻であるが、慣行の100分の1の灌水量で野菜栽培ができればこれらの問題を同時に解消でき、自家用野菜のみならず商用野菜生産も可能となる。

トマト栽培における、灌水量の理論的指標として用いられる蒸発散量は日本における既報の研究を見ると、1日当たり、ライシメータ法で、5月2.2mm、6月は7.0mm(種田, 1959)、フローティングライシメータ法で、5月2.3mm、6月3.1mm、7月5.1mm、8月6.7mm(富高, 1974)、チャンバー法で6月3.8mm、7月4.1mm、8月2.7mm(中川・野中, 1964)といった報告がある。すなわち慣行の100分の1の灌水量といっても、気象条件や生育状況に大きく左右されることが明らかである。特に湿潤な日本では土壤水分や大気中の湿度などの影響は大きいと考えられ、雨よけハウス等の条件を考慮したとしても、作物の乾燥環境への順化を利用した節水栽培法を乾燥地や天水農業地域などへ適用できるかどうかは実際に栽培してみなければ不明である。また、永田の

農法を構成する技術要素のうち、どの要素が節水栽培を成立させているのかも不明である。例えば土壌の湿潤防止は乾燥地では恐らく不要である。さらに科学的な検証を積み重ねることで、節水栽培の技術要素は永田の農法そのものとは異なってくる可能性もある。これらの点を明らかにするために、まず、ほとんど降水がない東北タイの乾季においてモデル栽培試験を行い検討することにした。

材料及び方法

1. 耕種概要

試験は、コンケン県コンケン市に位置するタイ政府の機関である国際農業開発研修センター (International Training Center for Agricultural Development) 内の試験圃場 (北緯 16 度 28 分 25 秒, 東経 102 度 50 分 18 秒) において、2003 年 12 月から 2004 年 4 月にかけて行った。圃場の土質は東北タイに一般的な壤質砂土であった。2003 年 12 月 19 日, タイで広く栽培されるシーダトマト (*Lycopersicon esculentum* Mill cv. Seeda, ピンク系小果品種, 無支柱栽培用芯止り型, 播種後生育日数約 110 日) を 20cm×30cm×5cm のプラスチック製筧に不織布を敷き, 約 3cm の厚さで圃場の土壌を詰め, 播種深度 1cm に播種した。12 月 25 日に発芽した後は, 乾燥条件に順化させる目的で, 初期萎凋点を指標にして灌水した。2004 年 1 月 5 日, 直径 7cm 深さ 8cm のポットに移植し, 同様に灌水した。1 月 26 日, 本葉 5.5 葉の苗を, 幅 1m 長さ 30m の畝を 0.5m の通路を挟んで 2 つ設け, 一方に幅 1.5m のマルチ (積水ツインホワイトTM) を施し, 事前に実施したかんがい水の浸透状況の確認試験 (後述) の結果をもとに, それぞれ苗を隣接個体の影響を受けないよう 1m 間隔で各畝 30 個体を植えた。灌水は畝に予め直径約 18cm 深さ 2cm の窪みをつけておき, 定植前に水を, 定植 16 日目 (2 月 11 日) と 35 日目 (3 月 1 日) に 12-9-6 液肥の 1000 倍希釈液を 250mL 施した。ちなみに 250mL の灌水は, 窪みの面積に対して約 10mm

のかんがい量となる。なお、窪みが崩れていた場合は灌水前に整形した。また、水分ストレスのない対照区として、根系の観察用に2個体、収量調査用に4個体の計6個体は無マルチ畝からランダムに選び、週3回250mL灌水した。施肥に関しては他と同様、定植16日目と35日目に12-9-6液肥の1000倍希釈液を250mL施し、液肥を施したときは灌水したものとみなした。

2. 調査項目

生育量は、青色のプラスチック板を背景に立てて、一定角度から撮影したトマトの投影面積により評価した。投影面積は画像処理ソフトLIA32(山本一清, 2005)により測定した。撮影は原則として午後4時に全個体について行った。なお、撮影距離の変動の影響は、プラスチック板のサイズを基準に補正した。また撮影時に生存個体数を記録した。定植60日目(3月26日)に、根系および土壌の状態を観察した。定植74日目(4月9日)を第1回として、熟果を週1回収穫し、収量を測定した。また、冷凍保存した収穫果の糖度を、自然解凍して糖度計(ATAGO社PAL-1)で測定した。なお解析に使用した降水量データは、国際農業開発研修センター内の雨量計のデータを用いた。

3. 土壌の乾燥程度とかんがい水の浸透状況の確認

試験開始に先立って、土壌の乾燥程度を確認するとともに、かんがい水の浸透状況を観察した。2004年1月12日、前述の試験区に隣接する畝に20cm×50cmのプラスチック枠を軽く押さえつけて置き、5mm(500mL)、10mm(1000mL)、20mm(2000mL)の水を如雨露で均一に灌水し、25分、1時間、4時間、24時間、72時間後に土壌断面を観察した。反復は2反復とした。

4. 降水の影響のシミュレーション

試験開始 11 日目に 28.8mm のまとまった降水があったことから、その影響を米国農務省塩類研究所において開発された土中水分・塩分移動予測汎用プログラム HYDRUS-2D (Radcliffe and Šimůnek, 2004) を用いて評価した。土壌タイプは現地圃場と同じく、深さ 0~1m を壤質砂土、1~1.2m を砂質埴壤土とし、下端境界条件は重力排水を仮定した。初期条件は雨季の終りを全土層で飽和水分と仮定し、実際の降水条件をあてはめた。土壌水分特性は現地土壌をサンプリングし、室内実験により土壌水分保持曲線を求めた。土壌水分保持曲線と透水係数の関数モデルには、van Genuchten モデル (van Genuchten, 1980) を用いた。畝形状は、幅 1.5m の中央 0.5m の部分を 0.2m 低くして畝間を表現し、片側の畝の蒸発量ならびに浸透速度をゼロに設定することでマルチを表現した。なお、砂質埴壤土層は浸透速度が約 $10^{-6} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ と極めて小さいため、厚さを変えてもシミュレーション結果への影響は無視できる範囲であった。

結 果

1. 気象経過

2003 年の雨季の最終降水は 10 月 15 日であった。その後 90 日余にわたり降水は無く、定植前 8~7 日 (2004 年 1 月 18~19 日) に 9mm の降水があった。生育期間 95 日のうち、1mm 以上の降水があったのは 15 日であった。その内 5mm 以上のまとまった降水は、定植後 11 日 (2 月 6 日)、66 日 (4 月 1 日)、68 日 (4 月 3 日)、84 日 (4 月 19 日)、90 日 (4 月 25 日)、93 日 (4 月 28 日) の 6 回で、降水量は各々 29, 18, 10, 21, 28, 171mm あった (Fig. 1)。

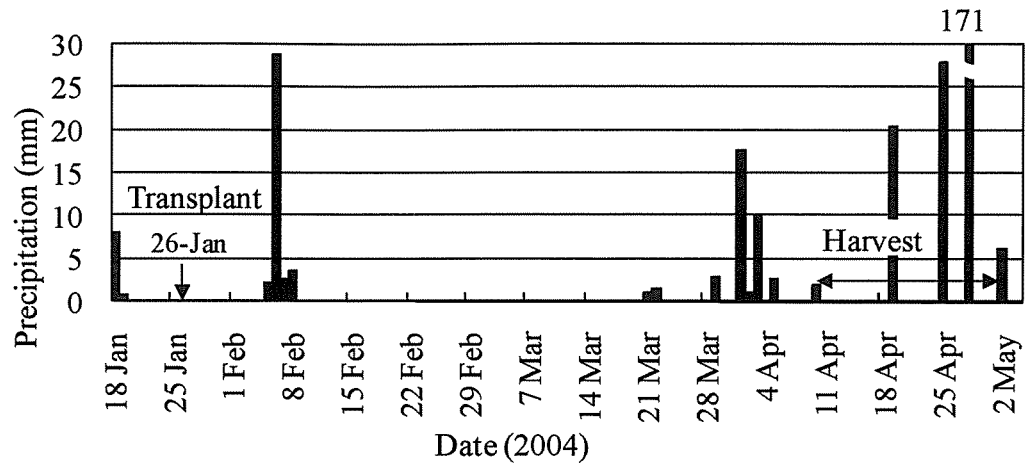
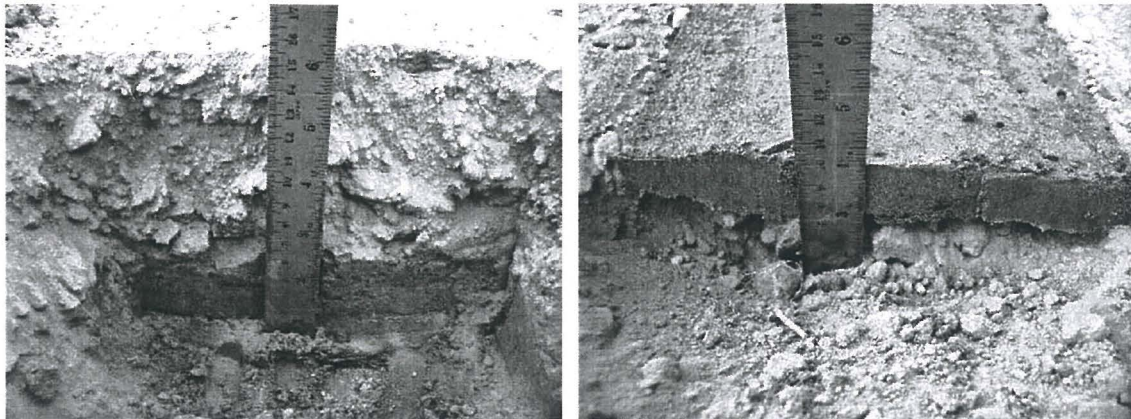


Fig. 1 Daily precipitation in the experimental field.

2. 土壌の乾燥程度とかんがい水の浸透状況の確認

灌水前の土壌は極度に乾燥しており、表層約 8cm までは断面構造が維持されず崩壊した (Fig. 2)。かんがい水は明瞭な境界を描きつつほぼ垂直に浸透し (Fig. 2)、25 分後には等しく 3cm に達した。その後の浸透状況をまとめたのが Table 1 である。1 時間後、浸透は 5, 10, 20mm の灌水量に対してそれぞれ約 3, 4, 6cm まで達し、4 時間後約 3, 6, 8cm に達したところで浸透が停止した。20mm 区では下層の断面崩壊のない部分と融合した。24 時間後、5mm では地表面からの蒸発により水分は失われて浸透層の見分けがつかなくなった。72 時間後には断面が崩壊し、10, 20mm でも地表面から約 3cm まで乾燥が進行していた。



Before watering

1 h after watering (5-mm)

Fig. 2 Appearance of infiltrated water.

Approximately 8 cm of dry sand layer was observed before the experiment. The irrigated water vertically infiltrated with a clear border.

Table 1 Change in the water infiltration layer (cm).

Time(h)	Amount of applied water		
	5-mm	10-mm	20-mm
1	3	4	6
4	3	6	8
24	0	6	8

The values represent the thickness of the water infiltration layer from the ground surface for different quantity of watering. The water infiltration layer disappeared after 24 h in the 5-mm plots

3. トマトの生育

Fig. 3 は生育量の推移を見たものである。いずれの処理区でも定植 49 日目 (3 月 15 日) に最大となり、その後は緩やかに減少した。ただしマルチ区の初期生育は、無マルチ区、対照区に比べて著しく旺盛で、無マルチ区、対照区はマルチ区ほどピークが明瞭ではなかった。ピーク時のマルチ区の生育量は、無マルチ区の約 6 倍、対照区の約 2 倍で、一見してマルチ区の生育が優った (Fig. 4)。マルチ区のトマトの形態的な特徴は、慣行栽培と異なり、葉に強い巻き上がりが見られた。Fig. 5 は生存率の推移を見たものである。対照区は 4 月中旬まで枯死はなく、その後次第に枯死割合が増加した。マルチ区は 3 月中旬までに 15% 枯死したが、その後は 4 月下旬まで枯死はなかった。無マルチ区は定植直後を除き、3 月下旬まで枯死はなかったが、その後次第に枯死割合が増加していき、4 月中旬と 5 月初めに多くの個体が枯死した。定植 60 日目 (3 月 26 日) の根系調査の結果、無マルチ区は根系が疎で、地中深く伸張していたのに対し、マルチ区および対照区は、ともに直根の発達が見られず、地表近くに根群が形成されていた。さらに、マルチ区の根は、水平方向へ大きく広がっていた (Fig. 6)。なお、定植後 11 日目 (2 月 6 日) の 29mm の降水の影響でマルチ下にはしばらく水分が保たれたが、根系調査時の作土は、マルチ区も極度に乾燥していた。ただし、マルチの裏には、水蒸気の凝結による水滴が観察され、マルチから落ちた滴で地表面が湿っていた。収量は、個体当り、対照区 0~210g、無マルチ区 0~65g、マルチ区 0~388g の間に分布し、平均は対照区 55g、無マルチ区 11g、マルチ区 124g で、標準誤差はそれぞれ 52g、4g、24g であった。対照区の糖度は、概ね 4 度であったのに対し、無マルチ区およびマルチ区は、5.5~8 度と高かった (Fig. 7)。

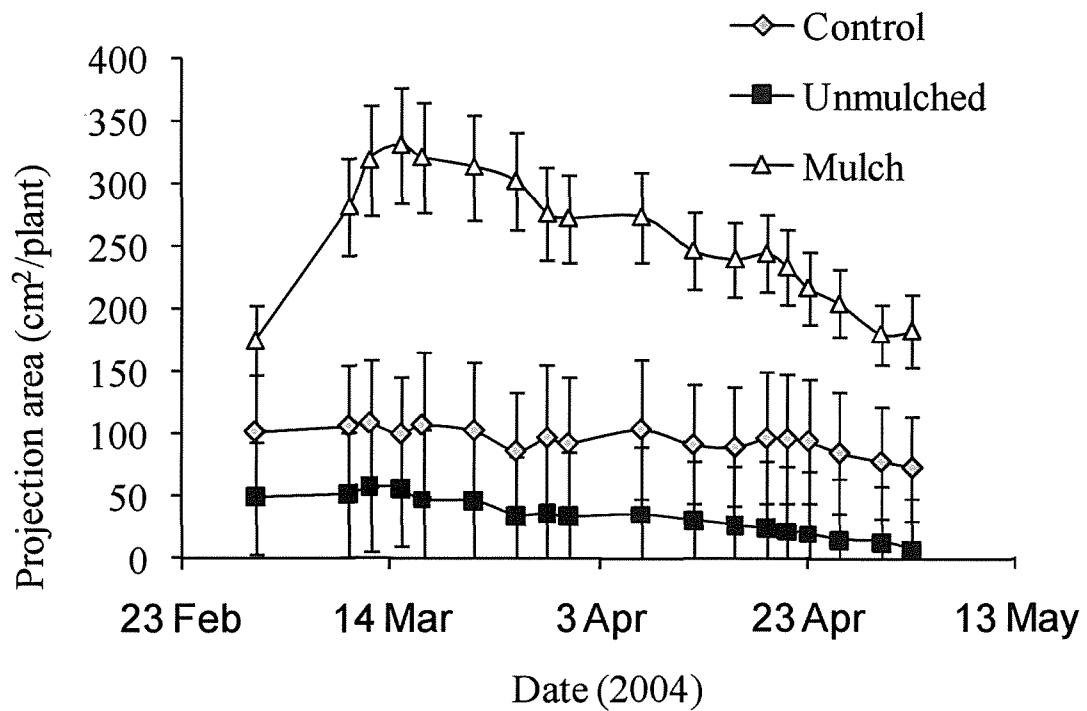


Fig. 3 Growth of tomato plants.

Plant growth was evaluated by the projection area depicted in the tomato plant picture that was captured with a blue background. Bar: SE. The control plot was watered with 250 mL per plant 3 times every week; the other plots were watered 3 times per crop cycle (including transplanting).

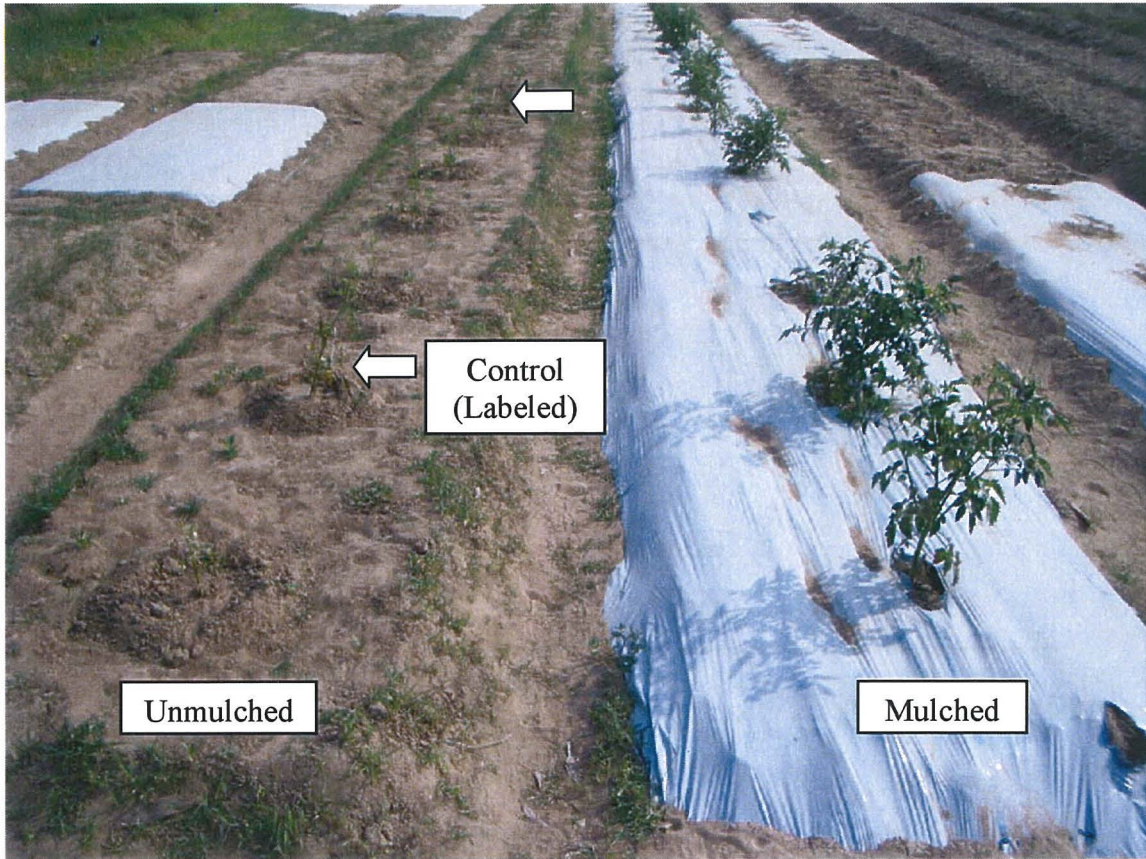


Fig. 4 Growth of tomato plants at 49 days after transplanting.

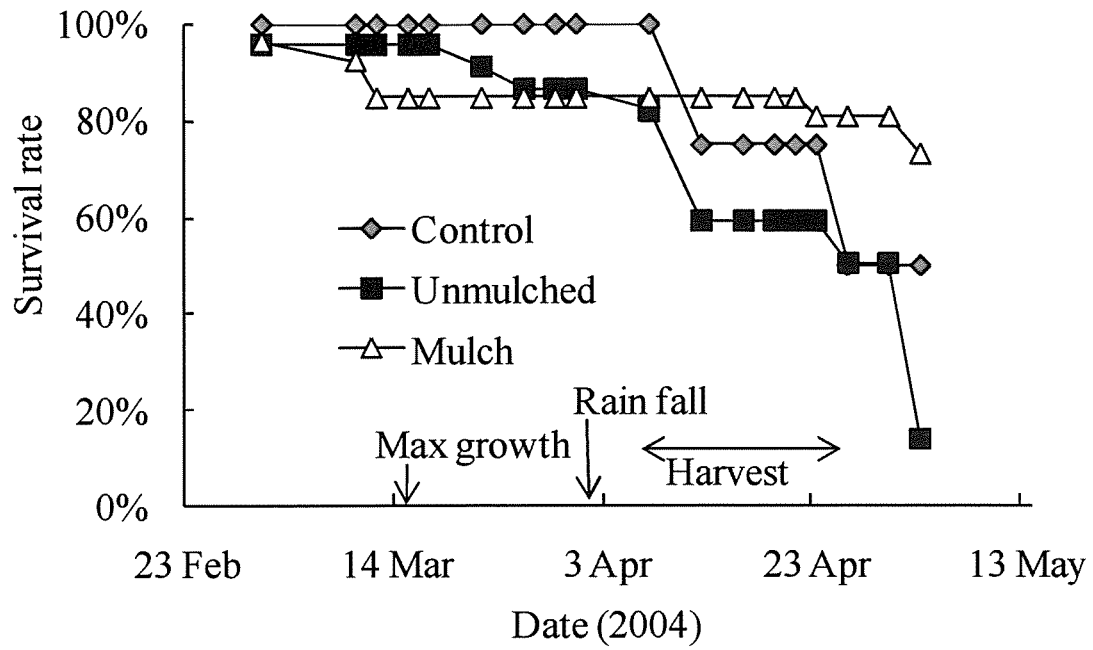


Fig. 5 Survival rate of tomato plants after transplantation.



Fig. 6 Tomato plant growth and root system image at 60 days after transplantation. A thick and compact root mass was noted near the ground surface in the control plots. A long and narrow root extended deep into the soil in the unmulched plots. A wide root area was noted near the soil surface (under the mulch) in the mulched plots.

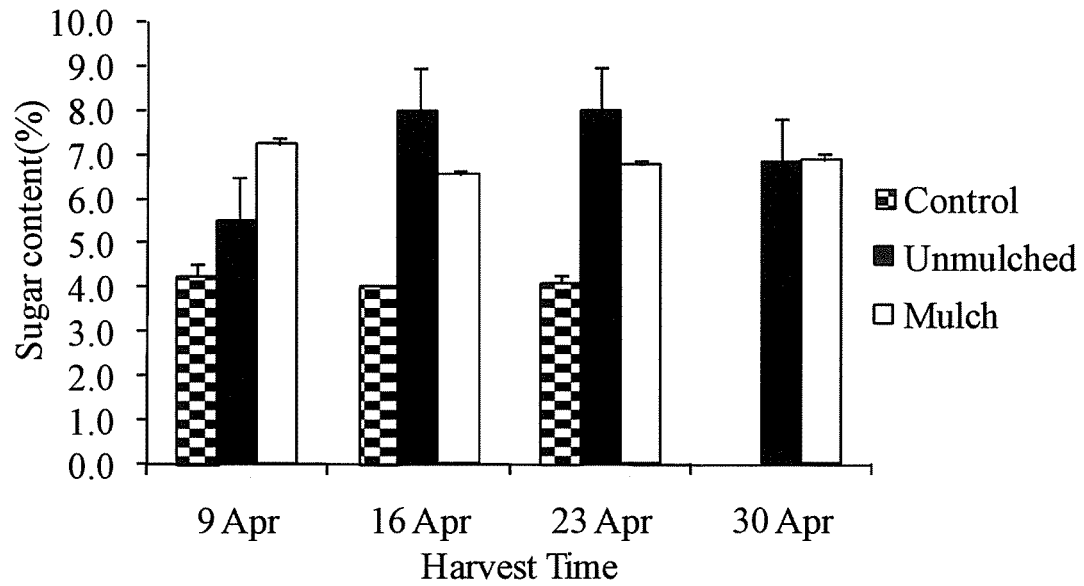


Fig. 7 Sugar content of tomato fruits.

Sugar content was measured using a Brix meter. Bar: SE.

4. 降水の影響のシミュレーション

Fig. 8 にシミュレーションの結果を示す。図は無マルチ区とマルチ区の 2 つの畝の間を中心とする断面で、地表面の白い線がマルチを表している。土壌水分は体積含水比 0.05 ごとに色分けされている。降水前のマルチで覆われていない地表面付近の土壌水分が 0.10 以下であったのに対し、マルチで覆われた部分は地表面蒸発がないため、降水前からマルチによる地表面蒸発抑制効果が見られ、無マルチ区に比べて全体に土壌水分が高く 0.10~0.15 であった。降水開始後、降水はマルチの表面から浸透することはできないので、マルチの上を流れ、畝間のマルチ区側に集中し、その結果として降水 2 時間後の時点では、畝間のマルチ区側の水分が高くなった。その後、砂質土壌の特性として水分は速やかに拡散し、マルチ下にも浸透していくが、畝部分は圃場容水量を超えることはなかった。6 時間後には早くも無マルチ区の地表の水分は 0.10 を切り始めた。そして 8 時間後には無マルチ区とマルチ区の間で、下層土の水分環境はほぼ等しくなった。ただし、マルチ区、無マルチ区とも降水前より上部で 0.05、下部で 0.10 高くなった。

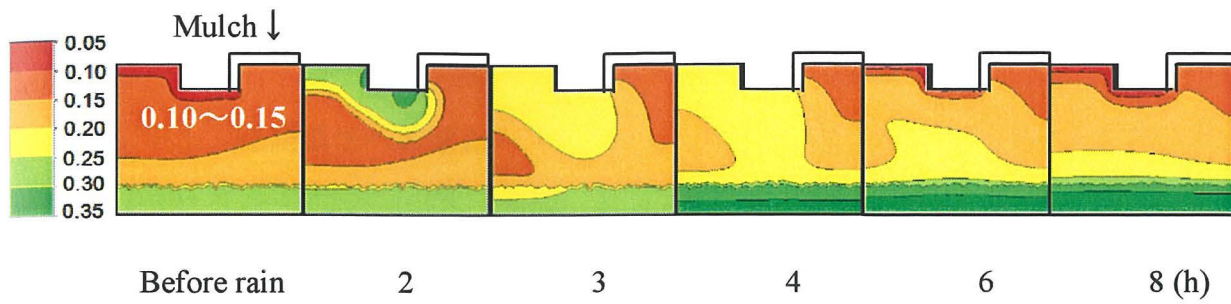


Fig. 8 Effect of 29-mm rainfall at 11 days after transplantation.

This figure shows the results of soil moisture simulation by HIDRUS-2D. The simulation was conducted from the end of the rainy season to 6 February 2004. Each part of the figure shows the cross-section between the unmulched ridge (left) and the mulched ridge (right).

考 察

1. 乾燥環境への順化

まず、今回の栽培条件により乾燥環境へのトマトの順化が誘導されたか否かについて検討する。水分ストレス条件下では、浸透調節のため植物体内の可溶性糖濃度が上昇し、果実中の糖、有機酸や遊離アミノ酸濃度が高くなることが知られており (Ehret and Ho, 1986; Franco *et al.*, 1999), 水ストレスおよび高塩類ストレスによって、トマト果実の収量は減るが、品質は向上することが知られている (Li *et al.*, 2001)。マルチ区および無マルチ区の糖度上昇は水分ストレスを受けたためと考えられる (Fig. 7)。永田 (1987) は、節水栽培トマトの特徴として、葉の巻き上がり、直根の退化およびマルチ下での横方向への広がり、果実の糖度の上昇などを指摘している。本試験では、マルチ条件下の植物体は全てこれらの特徴を備えていたが、無マルチ条件下では乾燥条件にもかかわらず根が深く伸びており、永田の指摘する特徴と異なった (Fig. 6)。また、対照区は糖度が低かったが (Fig. 7)、直根の退化という点では節水栽培の特徴を備えていた (Fig. 6)。根系の違いを生じた原因についてはいずれも、水分の多いところに根が分布した結果と思われる。根系調査時には、対照区を含め作土が乾燥していたが、マルチ区ではマルチの裏に水滴が観察されていた。他方、無マルチ区は地表面の水分凝結がないので、単純に水分の多い下層土へ根が伸長したと考えられる。対照区については、かんがい水の浸透の確認結果 (Table 1) に見るように、10mm 程度の灌水が週 3 回では主として地表付近を湿らせるのみで下層土に達せず、地表付近の水分が下層土より相対的に高く維持された結果、水分の高い地表付近に根群を形成したものと思われる。対照区は果実の糖度の上昇がなく、節水処理区のような順化は誘導されていない。

2. 収量性

つぎに節水栽培技術の実用性について収量面から考察した。シーダトマトの 2004 年のコンケン県の平均収量は $1133 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ であった(タイ農業局コンケン県事務所)。これに対して、各処理の最大収量を標準栽植密度 $2.67 \cdot \text{m}^{-2}$ ($75\text{cm} \times 50\text{cm}$) に換算するとマルチ区, 無マルチ区, 対照区の収量はそれぞれ $1035, 173, 560 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ となる。早計な判断は禁物であるが, マルチを使用すれば現地の平均収量が得られる可能性はあると思われる。ここで, 水分が十分供給された対照区がマルチ区より低収であったことから考えると, 本試験では収量向上に必要なものは水分より養分であった可能性が高い。シーダトマトの標準施肥量は, 窒素, 燐酸, カリの成分量で ha あたり $78.5\text{kg}, 52.5\text{kg}, 67.5\text{kg}$ とされているが(タイ農業局コンケン県事務所), 本試験においてはそれぞれ $1.6\text{kg}, 1.2\text{kg}, 0.8\text{kg}$ とほとんど無施肥に近い施用量であった。マルチ区では根系が広く分布したため, もともと土壤に存在した養分をより多く利用できたものと推察される。

3. 水分バランス

水分不足が生育に及ぼした影響の有無についてさらに検討する。まず, 無マルチ区の枯死は 3 月下旬から次第に増加していた(Fig. 5)。一見すると, これは水分の枯渇によるものと思われる。対する対照区では枯死が見られないこともそれを裏付けているように見える。しかし, 無マルチ区の枯死は 4 月 1 日以降まとまった降水が見られたにもかかわらず(Fig. 1), その後も次第に増えている。対照区も同様に, 4 月初旬以降次第に枯死していく様子が見られる。全体的に見れば, 対照区の枯死割合の増加パターンは無マルチ区と同様である。対照区の枯死に関して言えば, 水分不足の可能性は無い。したがって枯死の原因は, 4 月 8 日には一般栽培の生育日数である播種後

110日に達していること、および土壌中の養分の枯渇等にあると考えられる。

マルチ区の生存率については、3月中旬までに15%枯死しており、その割合は無マルチ区よりも高いことが注目される(Fig. 5)。この間の生育量の変化を見てみると、無マルチ区では変化はないが、マルチ区では急速に拡大している(Fig. 3)。一つの可能性として、生育量が大きいかほど蒸散量は大きくなるが、毎日のマルチ下の凝結水分には限りがあるため、生育量の大きな個体ほど、相対的に水分が不足し枯死するとの想定が成り立つ。そこでマルチ区に関して最大生育量を示した暦日とその時の生育量の関係を見たところ(Fig. 9)、白抜きで示した枯死個体は、むしろ生育量が小さく、しかも他の個体より早い時期に枯死しており、想定とは逆であった。つまり、相対的水分不足による枯死の可能性は小さいとえる。さらに、より乾燥が進んだと考えられる3月中旬以降に最大生育量を示した個体が見られることから、3月中旬以前の枯死が水分不足によるものとは考え難い。つまり、マルチ区の3月中旬までの枯死も水分不足以外の要因による可能性が高い。

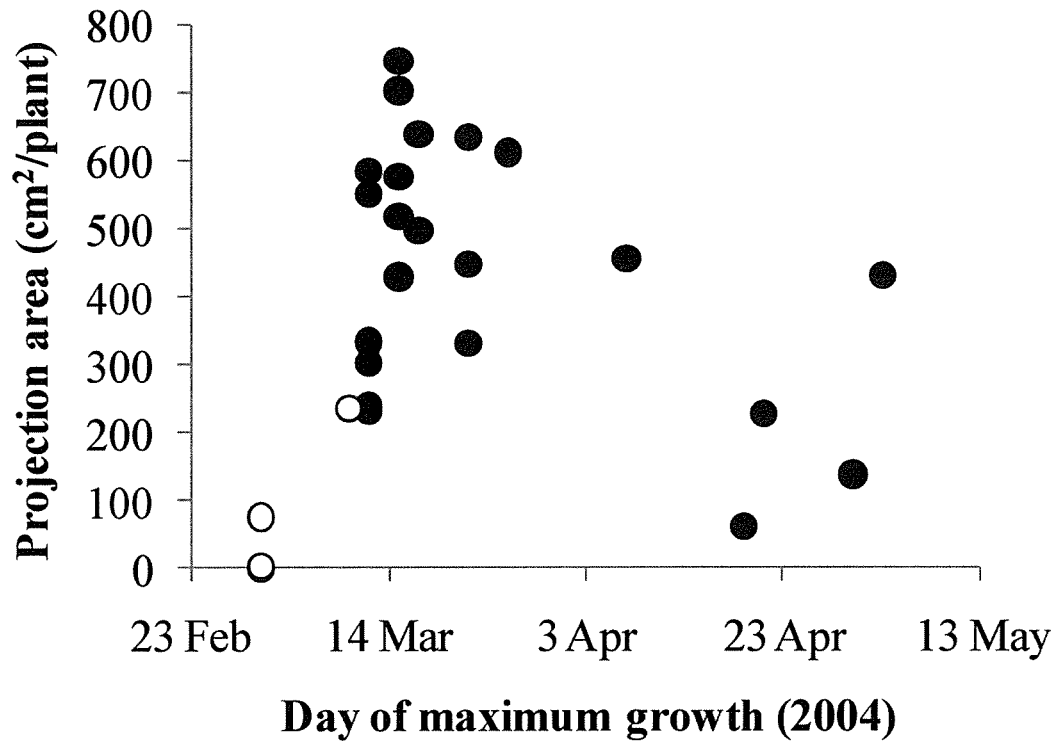


Fig. 9 The day of maximum growth and the projection area in the mulched plot.

○: Died before 15th March.

小 括

トマトに関する現地のかんがい指針では、110日の生育期間中の要かんがい日数は96日で、ほぼ日水面蒸発量に相当する1日当り5.4mmをかんがいすることとなっている(Saenchan, 1997)。タイ各地における野菜生産の実態は、朝夕の灌水が基本となっており、この指針は実態に合ったものと思われる。現地のかんがい指針を本試験の栽培期間に当てはめると518mmとなる。また、ほとんど降水の無かった定植65日目までの要かんがい量では351mmである。本試験の節水処理における総灌水量は個体あたり750mlであり、標準栽植密度 $2.67 \cdot \text{m}^2$ で換算すると、2mmに過ぎず、要かんがい量の150分の1である。灌水量に比べ、定植後11日(2月6日)の29mmの降水は遙かに大きく、マルチ下も含め畝全体の土壌水分が一旦圃場容水量に達している(Fig. 8)。したがって、今回の試験は実質的には圃場容水量からの無灌水栽培試験であったといえる。試験の結果は、東北タイの乾季におけるシーダトマトの節水栽培は、土壌水分が圃場容水量にある圃場でマルチを使用するならば、少なくとも生育前半の2ヶ月間を2mm以下の灌水量で、現地の平均収量を得られるという可能性を示すものであった。また、その生育は直接的には水分以外の要因に左右された可能性が高かった。

第2章 農民参加型技術開発手法による節水野菜栽培法の開発

摘 要

農民参加型技術開発の新手法「発明モデル」を考案し、東北タイの典型的農村であるノンセン村において節水野菜栽培技術を開発した。従来の「選択モデル」が既存技術の中から最適な技術を選択する技法であるのに対し、発明モデルは、新技術の素材となる知識を“知識技術”(Knowledge Transfer Technology (KTT))によって農家に伝え、農家自身が実用技術を発明する。本試験では、プラスチックマルチ、ポリタンク、ドリップかんがいテープ、プラグ苗、液肥、1作5回の液肥灌水管理で構成した、トマトの節水栽培法を農家に提示し、農家が代替資材の利用、管理法の改善等を行って実用的節水栽培法の開発を行った。開発試験には10農家が参画し、全9圃場に合計56試験区が作られ、代替資材、灌水・施肥管理、作目の変更など44種におよぶ改変が試された。トマトに関しては約半数が県平均収量を達成し、中には、プラスチックマルチを使用せず、稲わらマルチにより、総灌水量10mm程度で現地平均収量を達成したものもあった。また、栽培開始前の大量灌水により生育が斉一化したこと、栽培に失敗した圃場は砂質土壌層の厚みが薄く土壌水分が少なかったこと、トマト以外にチリトウガラシ栽培も可能であったことなどから、この節水栽培法は土壌水分の利用によって成立していることがほぼ明らかになった。最終的に、参画農家は評価集会において、ローカル資材で節水栽培が可能と結論した。

キーワード： 稲わらマルチ、チリトウガラシ、東北タイ、トマト

緒 言

農民以外の人による農業の考察，専門家による新技術の創出など，試験場をベースとした農業研究を技術移転パラダイムと呼ぶ。それは科学的な方法が農業の改善に必要であり，それらの方法を駆使できるようになるには，特別の訓練が必要であることを前提とした考えである。今日これらの仮定に疑問が呈されている。これに代わって提起されている考えは，科学的な手法は，複雑な農業体系の理解や改善に比較優位を持たないというものである。この代替的仮定の背景には，科学を，他の要素ならびに諸要素間の関係を一定の静止状態にしておき，ある個別要素のみを孤立的に研究するという還元主義的プロセスとして捉えるという，科学そのものに対する理解がある。科学が複雑な農業体系を模擬的にうち立てようとする時，還元主義的なプロセスから収集された個々のデータを合成的モデルの中に総合させていくことになるのであるが，しかし，その結果として出てくるモデルは，現実性から離れてしまうため実際的な価値がほとんどなくなってしまう。公式的科学のプロセスは，降雨や良質の土地に恵まれた温帯地帯における水稻農業体系，あるいは商業的単作農業のように，制御された環境での，より単純な農業体系で比較優位を發揮する。これに対し限定的な環境条件におかれ，長期間にわたって複雑なシステムのマネージャーとして活動してきた農業者は，そのシステムの細部にわたる働きを理解し，どんな変化が必要かを知り，そのシステムの機能に，短期ならびに長期にどんな効果が起こるかを評価し，そして変化の現実的な試験を設計し評価するという点で比較優位を持っている。外部者の役割は，媒介者ならびに情報提供者として寄与するところにある。このパラダイムに基づいた新しい手法が農民参加型研究である (Caldwell, 2000)。

第 1 章では，日本の篤農技術が東北タイにおいても適用可能であることが示

された。従来の「技術移転パラダイム」に基づけば、種々の要因試験を積み重ね、技術を開発し、数年の検証を経て実用技術として農家に普及するのが手順である。しかし、本研究における技術開発の対象は東北タイの零細農家であり、農家ごとに圃場環境はもちろんのこと資本力、労働力、経営規模および志向性が異なり、正に Caldwell (2000) の定義する複雑な農業体系に当たることから、農民参加型による技術開発を試みた。

材料及び方法

1. 発明モデル

現在、よく用いられている農民参加型研究の手法に「選択モデル」方式がある。「メニュー」方式あるいは「バスケット」方式とも呼ばれる。研究者は農家に複数の技術を提示し、農家が自身に最も適した技術を選択する。この方式はすでに確立した技術の中から最適技術を選択したり、微調整したりするには有効であるが、新技術の開発には使用できない。加えて、「選択モデル」における農家の役割は「選択」にとどまっている。そこには「創造」の営みが欠落していると考えられた。そこで、農民参加型技術開発手法の新モデルを考案し、技術開発を行うことにした。

「選択モデル」において、農家の「創造」を阻んでいる要因として、「技術の完成度」を指摘することができる。たとえば、東北タイの平均的農家がコンピュータ管理の点滴かんがいシステムを与えられた場合、ほとんど創造の余地はない。一方、「灌水量は減らすことができる」という単なる情報には、無限の創造の可能性がある。つまり、技術が完全であればあるほど創造の余地は小さく、不完全であればある程創造の余地は大きい。新技術の開発を目的とするのであれば、不完全な技術を用いるのがよい。最も不完全な新技術とは、新技術のも

とになる新知識そのものである。問題はいかにして新知識を農家に受け渡すかという点である。先にあげた例のように「灌水量は減らすことができる」では具体性が乏しく実質的にはほとんど意味がない。一方、詳細な説明を行おうとすれば、理解に多大な努力を要しつつなお不完全さを払拭できない。たとえば播種一つとっても、予め吸水させるのか、播種深度はどの程度か、土をかぶせた後鎮圧するのか等々説明すればきりが無い。そこで新知識の受け渡しの媒体として具体的な技術を用いることにした。研究者が持つ情報を、不完全な技術として構築する。これを農家がそれぞれの事情に応じて実用的技術に改変することで技術開発を行うという考えである (Fig. 10)。

この技術開発方式を選択モデルに対して「発明モデル」と名付け、用いられる不完全な技術を「知識技術 (Knowledge Transfer Technology (KTT))」と呼ぶことにする。農民参加型研究における不完全技術の使用は研究者が技術の完成に腐心する時間を節約し、農家の技術に関する理解と応用力を養うものとなると期待された。この方法が成功すれば、研究者はより研究の核心に集中することができ、農家はより創造的能力を発揮できることから、研究者と農家の間にいえば Win-Win の関係が成立する。

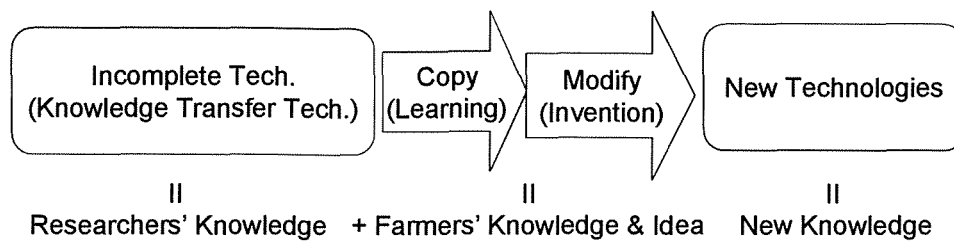


Fig. 10 Usage of Incomplete Technology in Technology Development

2. 知識技術の実装

研究の目的は野菜の節水栽培法の開発である。この目的は、労力、水資源の節約になることから農家にとって魅力的なものとなるであろうと思われた。第1章の研究結果から得られた知識は要訳すれば次のようなものである。「少なくともプラスチックマルチを使用するならば、東北タイの乾季においてもほとんど灌水することなく現地種トマトが栽培可能である」。

媒体となる不完全技術の構成にあたっては、次の要素を考慮した。

- (N) New: 新知識を提供すること
- (I) Interesting: 興味がわくこと
- (S) Simple: 改変しやすくアイデアを付加しやすいこと
- (E) Easy: 実施が容易で持続しやすいこと
- (A) Accurate: 効果を正確に評価できること

具体的には以下の形で上記の要件を実装した。

- 白プラスチックマルチ(S, I)
処理としてマルチはシンプルである。また、白プラスチックマルチはタイでは販売されておらず、農家の興味を引くことが期待された。なお、タイで入手不可能な白プラスチックマルチは代替資材に置き換えが必要なため、必然的に農家の創造を促すことになる。
- 点滴テープ・20Lタンク・20m長の試験区(A, E, I)
点滴テープ、20Lタンクは灌水量を正確にするための道具立てである。また試験区のサイズがテープの長さに規定され、試験精度が向上する。タンクに吸水後、放置しておけばよいので灌水作業時間も短縮でき、試験実施農家の負担を軽減できる。これらの資材は強く参加農家の興味を

ひくと思われた。

- 灌水スケジュール（移植後 0,2,4,8,12 週にタンク 1 杯 1000 分の 1 液肥（12-9-6）で灌水）(N)

KTT の本体である。試験圃場での処理をもとに構築した。

- 共同育苗(A, E)

熱帯では一般に、苗の質は温帯ほど重要視されない。しかし、節水栽培の場合は苗質により生育が大きく異なるため、質の揃った苗を使用しなければ試験精度が極端に落ちる。本試験では、確実に期するため育苗トレーを用いたプラグ苗を養成した。播種作業は試験参加者の連帯意識を高めることを重視し共同作業とした。管理は著者らが行った。

実際に使用した KTT を Fig. 11 に示す。

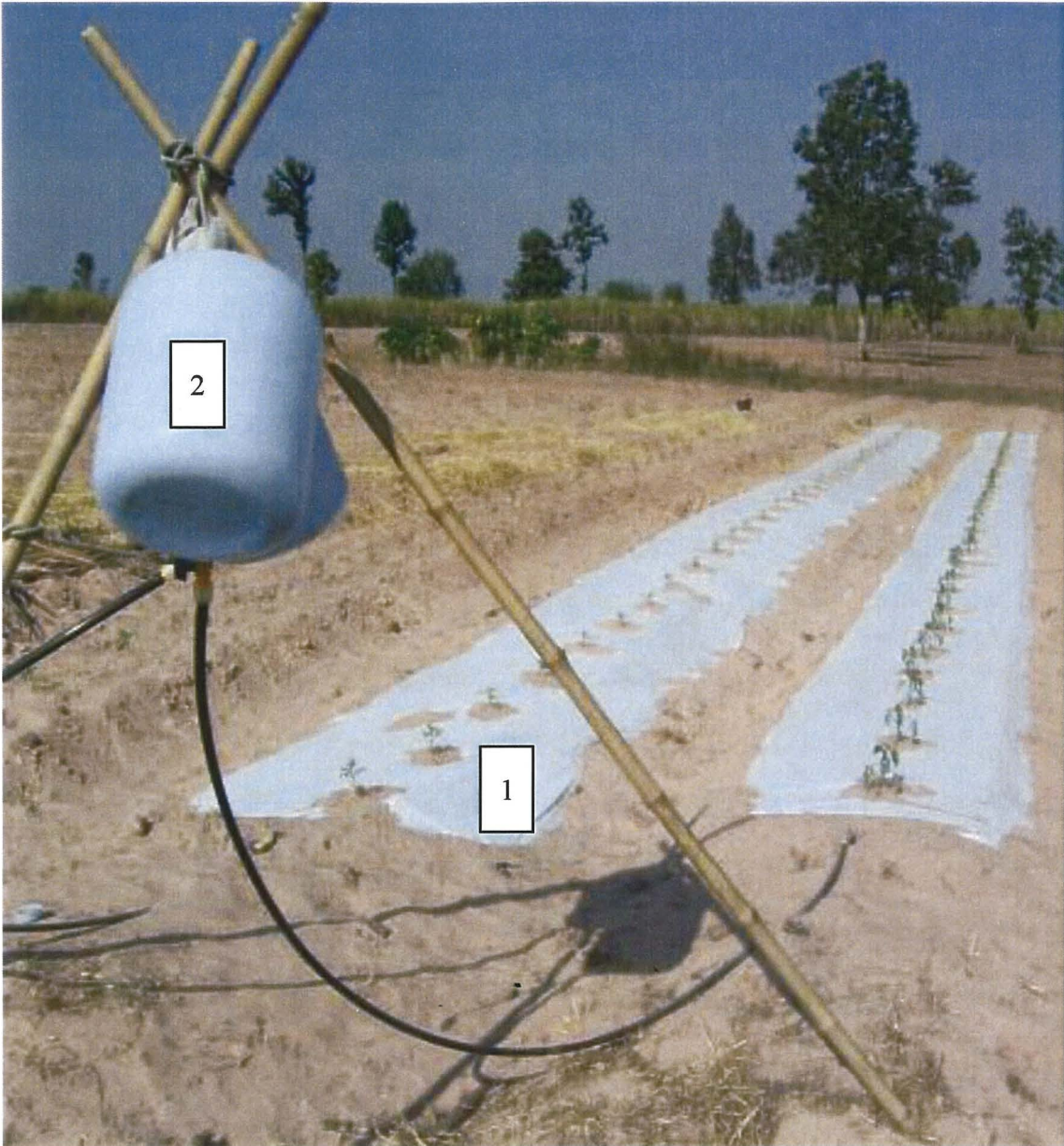


Fig 11. KTT (Knowledge Transfer Technology)

Note: the knowledge transferred is 1) soil protection to reduce surface evaporation (in plastic mulch) and 2) reduced water applications (in small tank and drip line).

3. マザー・ベビー法の改変

マザー・ベビー法 (Snapp, 1999) は選択モデルの実施方法として実績をもつ手法である。研究者は現地の農家が日常的に観察可能なデモンストレーション圃場を設置する。この圃場では、農家の選択枝として、複数の技術 (例: 複数の品種) が最低 3 反復で統計処理が可能な形で実施される。仮に展示技術が 10 種類あるとすると、最低 30 区となる。農家は自身にとって最良と思う技術と、研究者の推薦する技術を含む 4 つ程度の技術を自身の圃場で実施する。これがベビートライアルとなる。これにより農家は比較対照しながら最適技術を選択することができる。さらに、同じ技術が複数の農家で実施されれば、それは反復となり、より普遍的な統計データが得られることになる。

本研究では、このマザー・ベビー法を、発明モデル向けに、次のように改変して実施した。まず村内で著者らが管理する圃場で KTT を実施した (マザー)。農家は各自の圃場で最低 1 区画の KTT をマザーに倣って実施した (ベビー)。ベビーはマザーのコピーであり、これにより新知識が研究者から農家に受け渡される。その上で農家は各自の創意工夫により KTT に改変を加えて試験を実施した (グランドチルドレン)。これが知識の応用であり、新技術の発明となる (Fig. 12)。

ベビーは同一処理であるため、相互に比較することにより環境の効果を評価することができる。1 人の農家がいくつ試験区を作れるかは農家の余力次第である。余力があれば、数多くの処理を実施するであろうし、反復を設けることもあり得る。

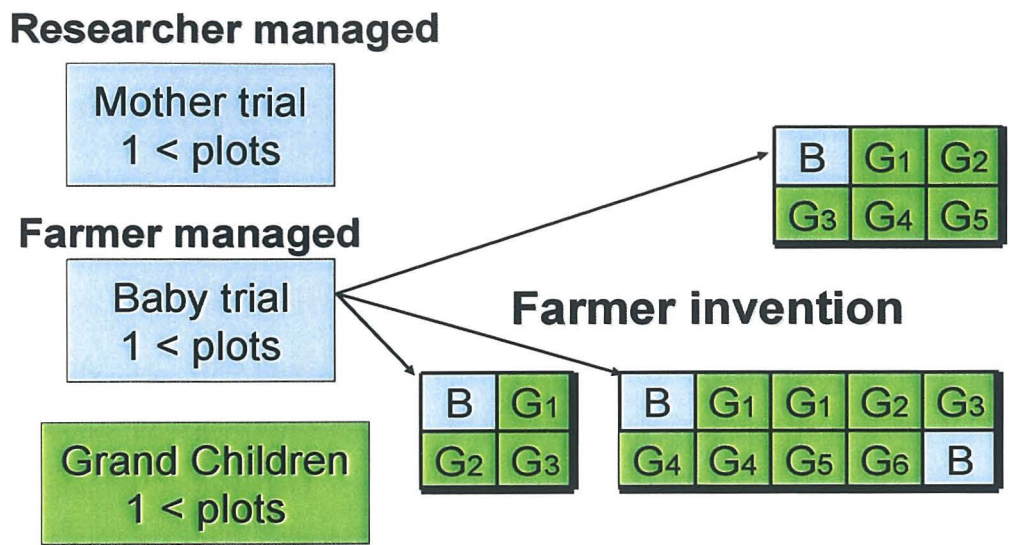


Fig. 12 Mother-Baby trial layout for invention model

4. 実施サイトおよび実施手順

技術開発試験は、タイ王国コンケン県バンヘッド郡ノンセン村で行った。主要日程は以下のとおりであった。なお、試験開始後、農家間の情報共有を目的に各農家の試験状況をニュースとして順次紹介した。

1. 2004. 9 第1回農民集会（試験参加者募集）
2. 2004. 10 第2回農民集会（試験詳細討議）
3. 2004. 11 第3回農民集会（共同播種）
4. 2004. 12 第4回農民集会（試験器具配布）
5. 2004. 12 試験開始
6. 2005. 1 第5回農民集会（試験場見学，収量調査方法研修）
7. 2005. 2 第6回農民集会（農民同志の圃場見学会）
8. 2005. 3 試験結果の個別聞き取り調査
9. 2005. 4 第7回農民集会（評価集会）

5. 調査項目

調査項目は以下のとおりとした。

農家の技術改変内容（代替マルチ資材，代替灌水器具，施肥の種類および量と施肥日，灌水量と灌水日）

収量（収穫日毎の水沈果，浮水果，虫害果の各重量）

農家の意識（試験結果の予想，試験後の感想，圃場見学の感想，評価）

その他，村役場正面の芝生に気象観測装置（Weather BucketTM；SEC Ltd., Hakodate, Japan）を設置し気象データを収集した。

結果及び考察

1. 農家の反応

農民集会を開いて参加者を募ったが、参加意思を表示した農家はごく少数であった。その最大の理由は野菜栽培における灌水労働時間の負担にあったと考えられる。農家の慣行では、野菜は毎日朝夕の2回灌水する。集居式村落のため、畑は離れており、その往復だけでもかなりの時間が割かれる。野菜の灌水作業は水稻やサトウキビの収穫と労働競合するため、野菜栽培農家は極少数という実態であった。灌水回数が1作200回におよぶ慣行栽培に比べ、KTTは移植時を含めて5回と省力的であったが、農家は俄かに信じようとはせず、多くの農家が、「トマトが死んでしまう」と主張した。しかし、ある農家の「1ヶ月に1度の水撒きだったら大したことないわね」とのつぶやきを機に多数の農家が参加意思を表明した。これは、節水が省力を意味することに農家が気づいたためと思われた。農家に対して、彼らが見たことのない白プラスチックマルチと点滴かんがいテープは、KTTを信じさせる上で効果があったと思われる。参加型研究ではこのような役割を果たす技術を“entry technology”と呼んでいる(Home et al., 2002)。最終的には10人の参加者を得ることができ、さらに5人の農家が試験を最初から最後まで見守ることとなった。10人の試験実施者のうち2人は共同で試験を行ったことから、試験圃場は9圃場となった。総試験区数は56区、総改変数は44種類に及んだ。

2. 改変内容

Table 2 にトマト栽培に関する改変内容をまとめた。Fields の項は参画農家数

10 に対して 1 少ないが、これは 2 農家の共同試験圃場があるためである。したがって、農家数と読み替えてほぼ差し支えない。以下、改変内容について説明する。まず灌水回数は、マザーの 5 回に対し全農家が灌水回数を増やす試験を行った。試験区数は 31 区で、その範囲は 6~30 回であった。4 農家は減らす試験も行った。試験区数は 5 区で、その範囲は 3~4 回であった。総灌水量はマザーの 6.7mm に対し全農家が灌水量を増やす試験を行った。試験区数は 31 区で、その範囲は 7.3~157.3mm であった。5 農家は減らす試験も行い、試験区数は 6 区で、その範囲は 4.0~5.3mm であった。

施肥量に関してはマザーの $0.64\text{gN}\cdot\text{m}^{-2}$ に対して、増肥が 7 農家、21 区、減肥が 6 農家 12 区で、その範囲はそれぞれ $0.68\sim 3.65$, $0.00\sim 0.48\text{gN}\cdot\text{m}^{-2}$ であった。施肥資材に関しては無施肥が 2 区、配布した液肥のみ使用が 34 区、化成肥料と牛糞を追加したものが 1 区、牛糞のみ追加したものが 1 区であった。なお、牛糞の窒素分は現地での分析値、乾燥牛糞 1g あたり全窒素 121mg に分解率は 20% を乗じて算出した。施用量はいずれも両手一杯=約 130g であったことから、牛糞による施肥窒素は $0.42\text{gN}\cdot\text{m}^{-2}$ であった。

マルチ資材に関しては 7 圃場で代替資材の試験が行われており、稲わらが 6 圃場 14 区、木の葉等が 1 圃場 1 区、無マルチが 5 圃場 6 区で実施された。この地域は穂刈りであるため、稲わらマルチには、圃場に残っている刈り株を引き抜いてマルチにしたものも見られた。なお、トマトやチリトウガラシでは株元に施用される牛糞は施肥と同時にマルチの効果もあるが、畝全体を覆うものではないことから、便宜的にマルチではなく肥料扱いとした。

最後に作目に関しては、チリトウガラシに変更したものが 7 圃場 11 区、葉野菜に変更したものが 1 圃場 1 区あった。

Table 2 Contents of farmer modifications for tomato

Modified Item	Fields (total = 9)	Plots (total = 44)	Note
Watering frequency	9	35	Mother plots: 5 (times)
increased	9	29	Range: 6-28
decreased	4	5	Range: 3-4
Watering quantity	9	37	Mother plots: 6.7 (mm)
increased	9	31	Range: 7.3-157.3
decreased	5	6	Range: 4.0-5.3
Fertilizer quantity	9	33	Mother plots: 0.64 (gN·m ⁻²)
increased	6	21	Range: 0.68-3.6
decreased	7	12	Range: 0.0-0.48
None	1	2	0.00
liquid	9	34	Range: 0.32~0.80
+ solid & manure	1	1	3.65
+ manure	1	1	0.90
solid & manure	2	6	Range: 2.02~2.42
Mulch materials	7	21	Mother plots: Plastic mulch
rice straw or stubble	6	14	
other materials	1	1	Tree leaf
un mulched	5	6	
Watering method	5	13	Flooding, hose, dipper, sprinkler
Complete copy	2	4	

3. 気象経過

2004年10月から2005年4月にかけての月降水量はおおの 0, 0, 2, 0, 0, 6, 6 mmであった。

4. 収量および灌水レベル

56試験区のうちトマトは44区であった。その77%は総灌水量20mm以下で管理され、75%は10回以下の灌水頻度で管理された。収量については20区が、過去3年間の県平均収量($1061 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$)を達成した。この内6区は稲わらマルチ、1区は無マルチであった。稲わらマルチ区の中には9.3mmの総灌水量で $1487 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、10.7mmの総灌水量で $1642 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ の収量を得たものもあった (Fig. 13)。これらの灌水量は東北タイにおけるトマトの標準灌水量524mm (Saenchan, 1997)のおよそ50分の1である。なお、試験結果からは灌水量と収量との間に相関は認められなかった。

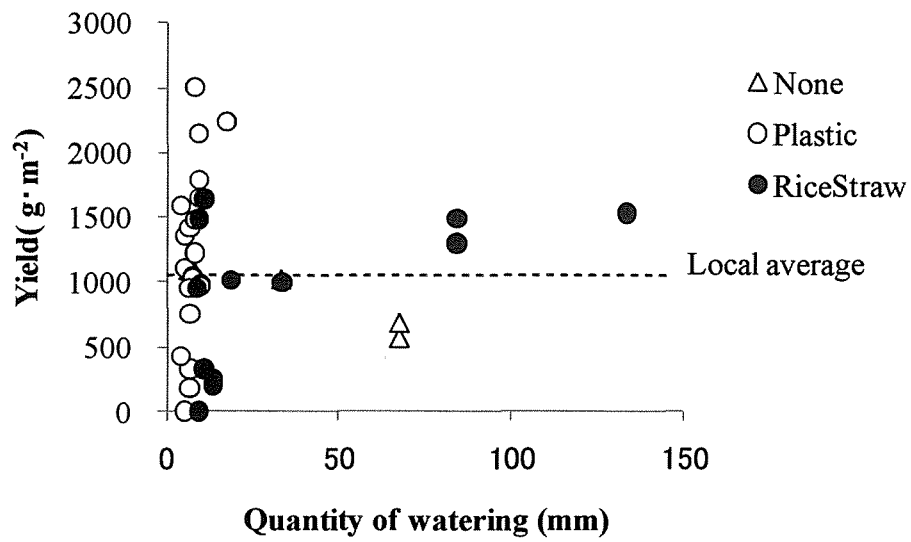


Fig. 13 Quantity of Watering and Tomato Yields in Different Mulch Materials

5. 節水栽培に影響を及ぼす要因

1) 土壌

圃場内の全試験区(4区)で収量が皆無という圃場が1つだけあった。土壌を調査したところ、この圃場は壤質砂土層が0.3 mしかなく、その下は礫層であった。一般にこの地域は約1 mの壤質砂土層が存在し、その下は約4 mの砂質埴壤土層となっている(Hamada et al., 2005, 2006)。この失敗例から、節水栽培には壤質砂土層の土壌水分が大きく影響していることが示唆された。

2) 土壌水分の補充

栽培開始前に大量灌水した圃場では生育が斉一化した。これも土壌水分が節水栽培の成否を左右している証左のひとつと考えられる。

3) 乾砂層の土壌水分保持機能

風乾状態になった乾いた砂の層は、乾砂層と呼ばれ、ある厚さになると地表面から放出される水蒸気量はほとんどゼロになることは広く知られている。畝間に穴を掘り、湿った下層土を頭わし、さらに穴に灌水してチリトウガラシを定植した試験では苗が枯死した。チリトウガラシの試験は他に5農家が7圃場で実施しており、全て畝に栽培されたが、マルチの有無を問わず栽培に成功していた。両者の違いは、壤質砂土層の表面が乾燥して出来た乾砂層の厚みにあると推察される。畝間を掘って湿った下層土をむき出しにしたため、蒸発により急速に土壌水分が失われてしまったと思われる。

4) 苗質の影響

慣行栽培では採苗の際に根が切断され、移植後2, 3日はしおれた状態が続く

が、KTT として使用したプラグ苗は移植直後から萎れなかった。また、共同育苗した苗の中に、たまたまトレーから根が地面にまで伸びた苗があった。地上部は他の苗に比べて格段に大きく、採苗の際に根が切断するので明らかにアンバランスな苗であった。この苗は移植直後に萎凋し、葉が枯れたため、1ヶ月後の生育は標準の苗と逆転した。

5) 尿素施用による濃度障害

慣行に従い尿素を施用し、直後に濃度障害を起こして苗が枯死した例があった。節水栽培には有機質肥料が安全である。

6) 他作物への応用

トマト以外に7圃場11区でチリトウガラシが栽培されたが、前述の1区を除き順調に生育した。

7) マルチの苗穴の影響

プラスチックマルチの苗穴は、KTT ではカッターで10cmの切れ目を入れるだけであったが、直径10cmの穴にしても生育に差は出なかった。

6. 農家による節水栽培技術の評価

4月29日に村の集会所で開催した評価集会には9農家が出席し、各農家が自身の試験区のスライドを説明し、情報交換を行った。最終的な農家の結論をTable 3に示す。「慣行より灌水量を減らすことができると思ったか」、「プラスチックマルチは無くても良いか」、「点滴かんがいテープは無くても良いか」、「慣行より施肥量を減らすことができるか」、「農薬は使用しなくても良いか」の全ての

問いに対して全試験実施農家が Yes と回答している。節水栽培が実用技術として農家に受容されたと見てよいであろう。

つぎに各項目の最適解についてみると、まず灌水については週 2 回とした農家が 7、週 3 回とした農家が 2 であった。これは実際に達成された月 1 回の節水レベルよりかなり高い頻度である。しかしながら、従来が毎日朝夕の 2 回、すなわち週 14 回であったことを考えると画期的な節水レベルとも言える。農家の技術開発目標は単なる節水ではなく、リスクや収量を考慮した、自身の労力・資源の最適配分である点に注意すべきである。多くの農家は試験レベルより灌水頻度を増やすことで安定的に収量が増大するとの考えを持っていた。

代替マルチ資材については稲ワラ、牛糞がほぼ同数となり、両方を上げる農家が半数あった。牛糞は本研究においては肥料扱いとしたが、東北タイの伝統的農業資材であり、肥料であると同時に土壌水分の保持効果があると農家には認識されている。その施用法は、果菜類などでは株の周りに直径 20cm 程度の窪みを作って敷き詰め、葉菜類には全面散布後灌水によって地表に定着する。牛糞の水分保持効果については、通常 1 日で乾燥する土壌の水分が 2、3 日保持されるとしている。この点について圃場実験により確認したところ、蒸発ポテンシャルに対する実蒸発率 y と牛糞マルチの厚み x (cm)には、 $y=0.20x^{-0.5}$ ($R^2=0.99$) の関係が見られた。農家の慣行では牛糞両手一杯 400 mL を直径 20 cm の窪み(約 314 cm²)に施用し、柄杓 1 杯(約 500 mL)の灌水を行う。この場合、牛糞の厚みは約 1.3 cm となり、上述の式にあてはめれば実蒸発率は 0.5 である。また、灌水量は窪みの面積に対して約 16 mm となる。東北タイの日平均蒸発量は約 6 mm day⁻¹とされていることから、圃場実験と同条件ならば 16 mm ÷ (6 mm day⁻¹ × 0.5) ≒ 5 day となり、5 日あまり水分が保たれる計算になる。定植直後は根系も狭く、苗周辺の土壌水分が保持されればよいと考えられ、蒸散量も小さいことから牛糞マルチは灌水作業軽減に極めて有効な処方であると思われる。

灌水手段としてはホースが良いとする農家が過半数を占める一方で、「必須で

はない」とされた点滴かんがいテープを最適手段としてあげる農家が 3 分の 1 あった。試験に使用された点滴かんがいテープはタイで流通している資材である。耐用年数は 3 年とされ、1m あたりの価格は 3 バーツである。年換算すれば 1 バーツ (3 円) 程度の比較的安価な資材であり、サトウキビ収穫の雇用労賃が日 200 バーツの農家にも利用可能である。農家が注目したのは灌水量の低減より、灌水労働時間の削減であった。水がめにポンプで吸水するだけで自動的に灌水されるため、監視、停止の必要が無く、浮いた時間を他の作業にあてることができる点が評価された。施肥量に関しては従来 of 2 分の 1 ないし 4 分の 1 で十分との評価であった。これも試験レベルより多いが、灌水頻度同様、収量の安定性を考慮した最適解と思われる。なお、これらはいくまで今回の試験結果をもとに農家が予想したものであり、今後農家の自主的な試験の継続によって実証され、さらに改良される必要がある。

Table 3 Conclusions of farmers at the evaluation meeting

Question	Yes (%)	Opinions offered by farmers (number of farmers)
Can you reduce watering as much as you thought before the trial?	100	2 times / week (7), 3 times/week (2)
Is plastic mulch unnecessary?	100	Use rice straw (7) or cow dung(6) instead
Is drip tape unnecessary?	100	Use dipper (3), hose (5), or sprinkler (1) instead
Can you reduce fertilizer as much as you thought before the trial?	100	Reduce to 1/2 (6), to 1/4 (4)
Are pesticides unnecessary?	100	—

* Total number of responding farmers: 9

7. 従来型技術開発との比較

1) 発明と選択

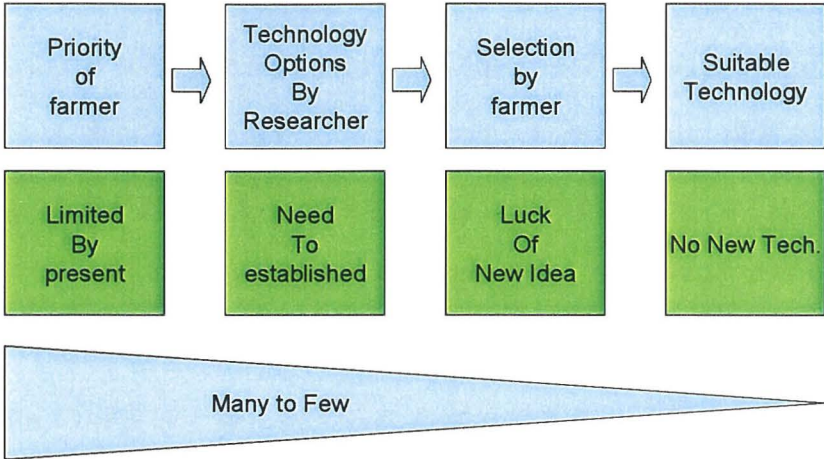
Fig. 14 に「選択モデル」と「発明モデル」の概念的比較を示した。「選択モデル」は技術の絞り込みのプロセスである。農家の優先事項を基準として、複数の既存技術が最終的には 1 つの最適技術を選択する。その枠組みを脱して創造へと進むことはかなり困難であると思われる。「選択モデル」の限界を知る好例が、今回の取組においてもあった。プラスチックマルチとドリップテープのみ実施し、他の資材を用いなかった 2 農家は、他の農家と交流するまでプラスチックマルチが必須だと考えていた。

一方「発明モデル」は技術創造のプロセスである。農家の優先事項ではなくオポチュニティーから出発する。1 つの KTT は 44 の技術に展開した。無論、44 の技術は最終的な到達点ではない。農家間の情報交換による「選択モデル」を通じて最適化され、さらにそこから次の「発明モデル」へと進展して循環する。

2) 研究と普及

農民参加型研究が果たして研究といえるか?との批判をしばしば耳にする。「選択モデル」においては、技術はすでに出来上がっており、技術開発そのものは研究対象ではあり得ない。しかし、「発明モデル」においては、実用技術が存在しないところから出発するため、農家の取り組みは正に開発研究そのものと言ってよいであろう。

Selection Model



Invention Model

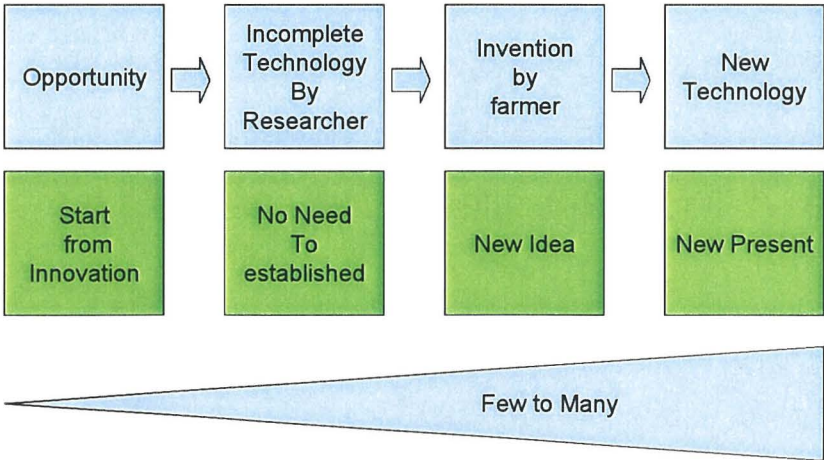


Fig. 14 Change in the number of technologies in the Selection and Invention Models

小 括

本章では、農民参加型技術開発を通じて、東北タイ砂質土壌地帯の乾季において、ほぼ無灌水でトマトを栽培し、地域平均収量を達成できることを実証した。同時に、プラスチックマルチおよび点滴テープなどの資材は必ずしも必須ではないことも明らかとなった。とくに注目されたことは、壤質砂土層が 0.3m しかなく、その下が礫層であった圃場では、4つの試験区すべてにおいて収量が皆無だったことである。節水栽培の成立要件には、土壌タイプが大きな要因を占めている可能性が高い。すなわち、節水栽培を成立させているのは、この地域の 1~1.5m の壤質砂土層に蓄えられた水分であると予想される。もう 1 点注目されることは、乾燥した表土を取り去って湿った土を露わにし、無マルチでチリトウガラシ栽培を試みたが成功しなかったことである。砂質土壌においては、乾燥した砂の層（乾砂層）が地表面蒸発を抑えることが知られているが、上述の例では乾燥した表土=乾砂層を取り去ったことで急速に土壌の乾燥が進み、水分不足によって枯死した可能性がある。プラスチックマルチなしで節水栽培が可能であるのは、乾砂層がマルチの働きをしているためと考えられる。上述の諸点に加えて、試験開始前の大量灌水が生育を斉一化させた事実を考え合わせると、本節水栽培法が土壌水分の利用によって成立していることはほぼ間違いないと思われる。

第3章 土壤水分シミュレーションによる節水野菜栽培技術の適用性評価

摘 要

東北タイ砂質土壤地帯の乾季において、ほぼ無灌水でトマトを栽培し、地域平均収量を達成できることが農家試験により実証された。この栽培技術は土壤水分に依存していると考えられたので、土壤水分シミュレーションを用いることによりこの栽培技術の妥当性を理論的に検証するとともに、異なる土壤タイプにおける適用性を検討した。シミュレーション・コードには農業分野に利用実績が多い HYDRUS-1D を用いた。まずシミュレーションのキャリブレーションとして、雨季の最終降水時(2004年9月23日)の土壤水分を飽和状態と仮定し、これを初期条件として、地表面蒸発によって節水栽培試験開始時(2004年12月1日)の水分に一致するよう、乾砂層の地表面蒸発抑制パラメータを調整した。その結果、この条件下では、期間中の積算可能蒸発量 420mm に対して実蒸発量の計算値は 150mm 程度となり、土壤表面の乾燥に伴って形成される乾砂層による蒸発抑制効果が十分であることがわかった。つぎに調整したパラメータを用いて収穫終了までの実測の土壤水分を再現できるかどうかを、検討したところ、計算値は実測値の傾向を十分に再現した。最後に、土壤タイプのみを東北タイの代表的な4つの土壤タイプ (Nam Phong, Ubon, Roi-Et, Phimai) におきかえてシミュレーションを行い、土壤の水分供給量を比較することで、節水栽培法の適用性を評価した。その結果、Roi-Et, Phimai は、技術が開発された Nam Phong よりも水分供給量が大きく、水分供給量が小さかった Ubon についてもその差は僅かであったことから、節水栽培技術は東北タイの広い範囲の土壤タイプに適

用性があると判断された。

キーワード： HYDRUS, 乾砂層, 節水栽培, シミュレーション, 土壌水分,
東北タイ

緒 言

第 2 章では、東北タイのコンケン県ノンセン村における農民参加型技術開発を通じて、東北タイの乾季においてもほぼ無灌水でトマトを栽培し、地域平均収量を達成できることを実証した。また、この節水栽培技術が土壌水分の利用によって成立していることが示唆された。東北タイでは雨季の終わりに集中的な降水があり、この時期に土壌水分は飽和すると推察される。さらに、砂質土壌の特性として乾砂層とよばれる乾いた砂の層が生成し、地表面蒸発が小さくなる結果、乾季中も多量の土壌水分が保持されている可能性が高い。節水栽培はこの現象をうまく利用していると考えられた。問題は、この節水栽培技術が特殊な土壌条件でのみ成立するものなのか、広い適用性をもつものなのかという点である。この栽培技術は土壌水分に依存していると考えられるので、その動態を見ることで適用性の評価が可能になると考えられる。しかし、土壌条件は、地域はおろか圃場内においてすら異なる。土壌水分の動態は、土壌条件と気象条件の組み合わせで変化するため、無方針に圃場試験を実施しても、節水栽培技術の適用性の妥当な評価は難しい。

そこで、本研究では、土壌水分シミュレーションによって、上述の節水栽培技術の妥当性を明らかにするとともに、その適用性を東北タイの代表的な 4 つの土壌タイプについて評価した。

研究手法

研究手法の概要は以下の通りである。まず初めに飽和土壌水分を初期条件として栽培開始時までをシミュレーションし、栽培開始時の土壌水分プロファイルに一致するよう各種パラメータを調整した。次に、上記の条件で栽培終了

時までの土壌水分の実測値を再現できるかどうか確認した。確認の結果、再現可能であったので、同じ設定のシミュレーションを、土壌特性に関するパラメータのみ東北タイの代表的な4つの土壌タイプに変えてシミュレーションを行い、土壌の水分供給量を比較することで、節水栽培法の適用性を評価した。シミュレーション・コードには、農学分野で使用実績の多いHYDRUS-1D (Šimůnek *et al.* 2005)を用いた。HYDRUSには2次元および3次元のソフトウェアもあるが、本シミュレーションは土壌の違いに的を絞り、出来る限りシンプルな条件で行うことを意図した。なお、HYDRUS-1Dは無償で利用することができる。

1. 圃場試験

試験は、東北タイの中心であるコンケン県の県庁所在地から約50km南下したノンセン村の圃場で実施された。なお、この圃場は第2章の農民参加型技術開発試験におけるマザー圃場である。土壌タイプは地表から約1mが透水性 $(5.0-9.4) \times 10^{-4} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ の壤質砂土、その下に数mの厚さで透水性 $(1.1-9.8) \times 10^{-6} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ の砂質埴壤土の難透水層が存在するとされている(Hamada *et al.* 2005)。圃場は前作に水稻が作付けされていたが、この地域の一般的な水田と同様、移植時を除き、かんがいしていない。2004年12月1日に現地種トマトを定植し、2005年2月16日から4月19日にかけて収穫した。収量は $2430 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ で、過去3年の県平均 $1080 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ を上回るものであった。試験区は $20\text{m} \times 0.75\text{m}$ で、節水栽培区は定植時に畝全体がプラスチックマルチで覆われた。したがって、その後の土壌水分の減少は作物の蒸散作用によるものとみなせる。灌水は、定植後0日、12日、40日、80日、90日に各1.33mm相当量をドリップかんがいテープで灌水した。なお、対照区は無マルチで、週3回、1.13mm相当量(500ml/株)を柄杓で株元の直径20cmの窪みに灌水した。土壌水分の測定には、誘電率計測法

の一種であるプロファイルプローブ水分計 (PR-1/6, Delta-T Devices 社) を用いた。本水分計は、土壤に長さ 1m のアクセスチューブを埋設、放置し、長さ 1.2m のプローブをチューブに差し込んで測定を行うもので、1本のプローブで同一地点の複数深さ (深さ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 1.0m) を同時にかつ経時的に計測することができる。アクセスチューブは、定植 13 日目に各区の生育中庸の個体を選んで作物の直近に埋設した。測定値 (電圧) は、現地土壤によるキャリブレーション式で土壤水分量へ換算した。

2. モデルの概要

1) 計算条件

パラメータの調整の結果、土壤水分の実測値の再現性検証に用いた計算条件は以下の通りである。

土壤水分特性；現地土壤をサンプリングし、室内実験により土壤水分保持曲線を求めた。土壤水分保持曲線と透水係数の関数モデルには、van Genuchten モデル(1980)を用いた。

土壤タイプ；現地圃場と同じく、深さ 0~1000mm を壤質砂土、1000~1200mm を砂質埴壤土とした。実際には数 m の厚さがあるとされている砂質埴壤土層を 1200mm までとしたのは、東北タイの代表的土壤タイプのプロファイルが 1200mm の深さまでしかなく、整合性を取る必要があったためである。確認したところ、砂質埴壤土層は浸透速度が約 $10^{-6} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ と極めて小さいため、厚さを変えてもシミュレーション結果への影響は無視できる範囲であった。

上端境界条件；実測の降水量と灌水量、および可能蒸発散量とした。可能蒸発散量の計算には試験圃場近くに設置した気象観測装置の気象データを用いた。作物からの可能蒸散量はマルチ被覆下の土壤水分変化の実測データから求めた。

すなわち、土壌からの可能蒸発量は可能蒸発散量からこの可能蒸散量を引くことで求めた。

下端境界条件；重力排水条件を仮定した。

初期条件；全土層で飽和水分を仮定した。

根域；全期間を通じて地下 300mm を仮定した。

根の吸水パラメータ；HYDRUS-1D に組み込まれているデータベースを用いた（トマトを選択）。

乾砂層を表現するパラメータ(hCritA)；-100000 を用いた。

ここで、hCritA について説明しておく。HYDRUS-1D は、hCritA と呼ばれるサクション値に達するまで、実蒸発フラックスと可能蒸発フラックスを等しくする計算手法を用いる (Rassam *et al.* 2004)。したがって、このパラメータは乾砂層の効果を表現すると考えることができる。本研究では、土壌水分の実測値に合うように hCritA を試行錯誤した結果、最終結果に大きな差が見られなかったため、デフォルト値を使用した。

2) 東北タイの代表的土壌タイプ

東北タイの代表的土壌タイプを Table 4 に示す。Nam Phong (Np)は試験圃場およびノンセン村の土壌タイプである。地表から 820mm までが壤質砂土，その下は砂質埴壤土で構成されている。東北タイの 3.10%を占め 4 番目に広く分布する。丘陵地帯の高地がこれに属し，全畑地の 10%が該当する。Ubon (Ub)は同じ丘陵地帯の低地に分布する水田土壌で，地表から 460mm までが壤質砂土，1130mm までが砂壤土，その下は砂質埴壤土で構成されている。東北タイの 2.46%を占め 5 番目に広く分布する。Roi-Et (Re)は低地の水田地帯に分布し，地表から 330mm までが砂壤土，その下は砂質埴壤土で構成されている。東北タイ

の 20.62%を占める。Phimai (Pm)は、河川沿いのかんがい地域に多く見られる粘土主体の土壌で、粘土のみで構成される。東北タイの 1.30%を占める (Mitsuchi *et al.* 1986)。

各種土性の水分特性については HYDRUS-1D のデータベースの値を用いた。他の計算条件は、1) で述べた条件と同じである。

土壌タイプの違いを見るのが目的であるので、地表面の状態はマルチなしとした。

Table 4 Typical soil type in Northeast Thailand

Nam Phong		Ubon		Roi-Et		Phimai	
texture	depth(mm)	texture	depth(mm)	texture	depth(mm)	texture	depth(mm)
LS	0~	LS	0~	SL	0~		
SCL	820~	SL	460~	SCL	330~	C	0~
		SCL	1130~				

SL: Sandy Loam, SCL Sandy Clay Loam, C: Clay, LS: Loamy Sand

(from the Land Development Department Soil Museum in Khon Kaen)

結果及び考察

1. 雨季終了後の土壌水分の変化

初期条件を土層全体で飽和とし、その後降水が無かった場合の土壌水分変化は、深さ 100 mm で $0.05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 、1000 mm で $0.33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ であった (Fig. 15)。実際栽培例では深さ 1000 mm の土壌水分が $0.35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 程度であるので、実測値に近い値となり、パラメータが適切であったことが確認された。計算蒸発量は 14 日目頃を変曲点として最終的に 0.4 mm day^{-1} となった (Fig. 16)。また、積算蒸発量の計算値は 154 mm となり、これは積算可能蒸発散量の 37% に相当し、地表面の乾燥に伴い蒸発が抑制されていることを示している。実際の圃場は水稻（湛水はされていない）が作付けされており、雨季終了後も蒸散があることから、乾砂層の蒸発抑制効果はこの値以上であると考えられる。なお、下層土からの土壌水分の流失は平均で 0.7 mm day^{-1} となった。

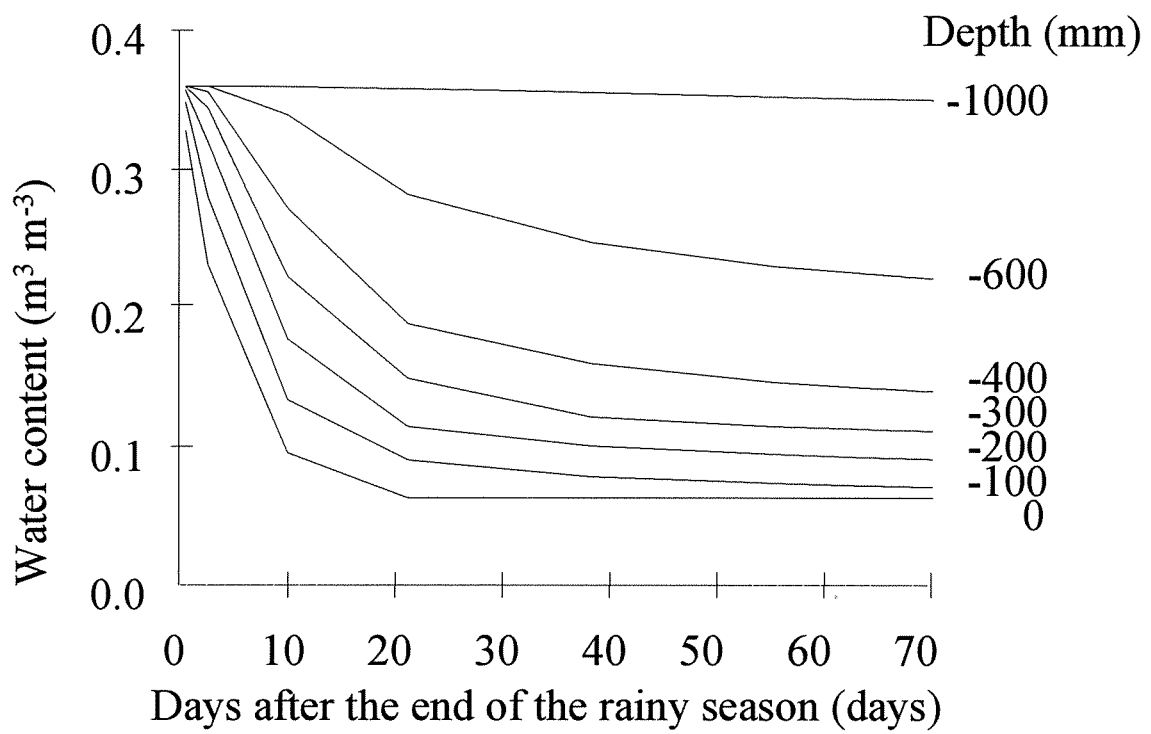


Fig. 15 Soil moisture movement after the rainy season

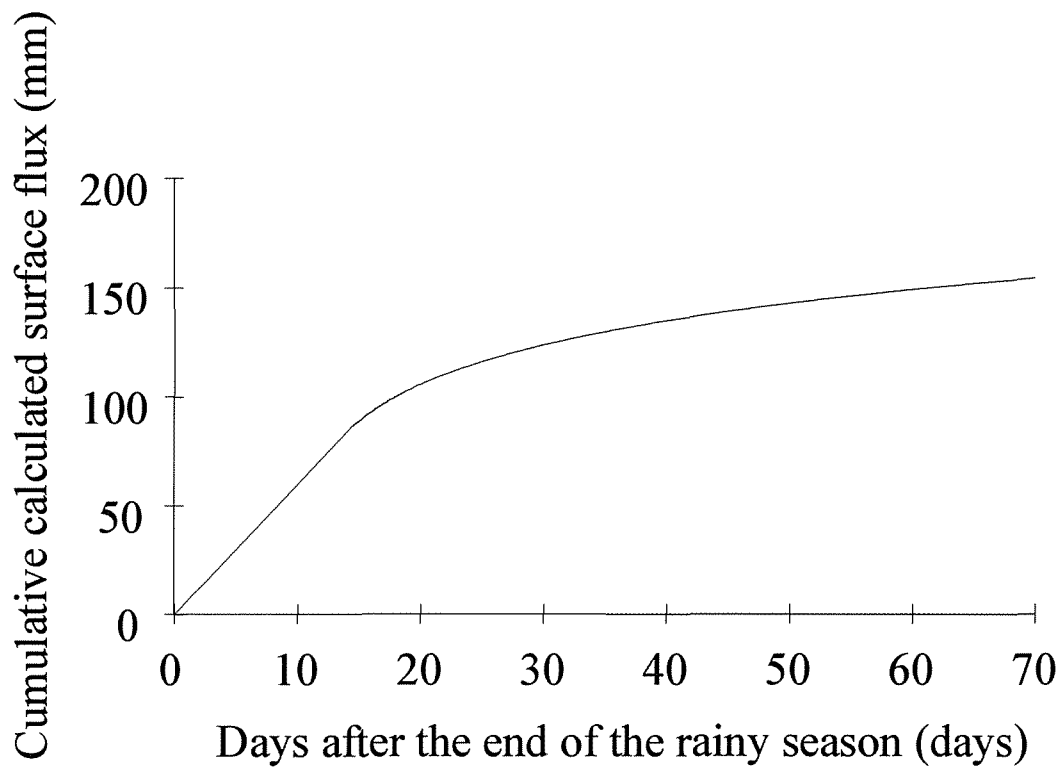


Fig. 16 Cumulative calculated surface flux after the rainy season

2. 節水栽培のシミュレーション

節水栽培圃場における土壌水分推移の実測値を Fig. 17, 18 に、節水栽培例をシミュレーションで再現した結果を Fig. 19, 20 に示す。マルチ区 (Fig.19) では 2005 年 4 月 25 日 (計算開始 146 日後) の深さ 1000mm 付近の土壌水分は $0.18 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ となり実測値の $0.15 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ よりも僅かに過大に評価された。また、対照区 (Fig.20) においても計算値はマルチ区と同じ $0.18 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ 程度になり、実測値の $0.10 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ よりも過大に評価されたが、両区とも計算値は実測値傾向をよく再現した。実測値は作物直近で測定したため、直根に近く、土壌の平均値より乾燥していると推察される。したがって、平均値の表現である 1 次元シミュレーションの結果が過大になるのは当然と思われる。

なお、対照区は週 3 回灌水しているが、灌水量よりも蒸発散量が上回っているため、ほとんど反映されていない。ちなみに、日蒸発量を灌水で補う慣行栽培も同様であると推察される。さらに重要な事実として、対照区の結果がマルチ区と近似していることが指摘できる。Fig.16 に示したように、乾季に入って 70 日経つとその後の地表面蒸発はほとんどゼロである。つまり、この時点からマルチをかけても、実質的にマルチ区と対照区の違いは、日蒸発量を下回る柄杓による灌水量と総計 6.7mm の点滴かんがいによる灌水量の差しかなく、両者が近似するのは当然と言える。これは、乾砂層の効果により、マルチなしでも節水栽培が可能であることを示唆している。

東北タイのトマト標準かんがい量は、日蒸発ポテンシャル 5.4mm、作物係数 1.01、生育日数 110 日に対する要かんがい日数は 96 日といった数値を根拠に、総計 524mm とされている (Saenchan 1997)。このかんがい量は蒸発量とほぼ等しく、地表面を常に濡らしておくだけでも、これだけの灌水が必要ということになる。約 100 分の 1 という節水レベルは一見、非合理的に見えるが、節水栽培

の場合，ほぼ実蒸散量に相当する水分だけを，土壤中から得ているために，少ない灌水量でも栽培は可能であると推察される。

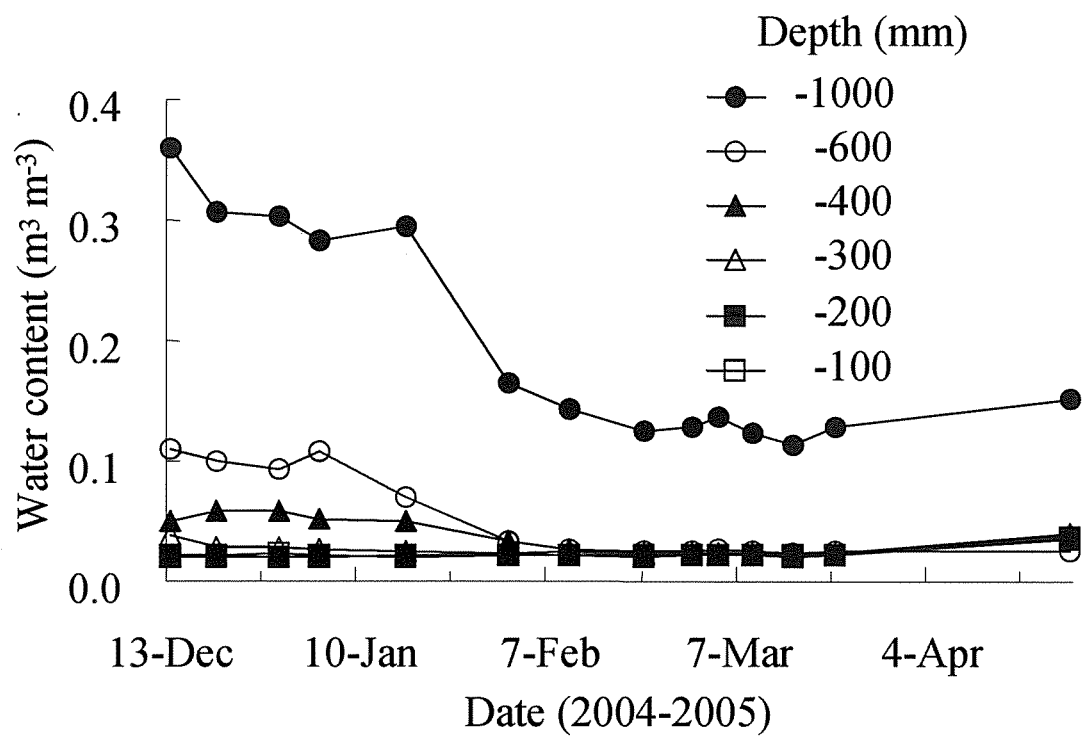


Fig. 17 Actual soil moisture movement of the water-saving plot

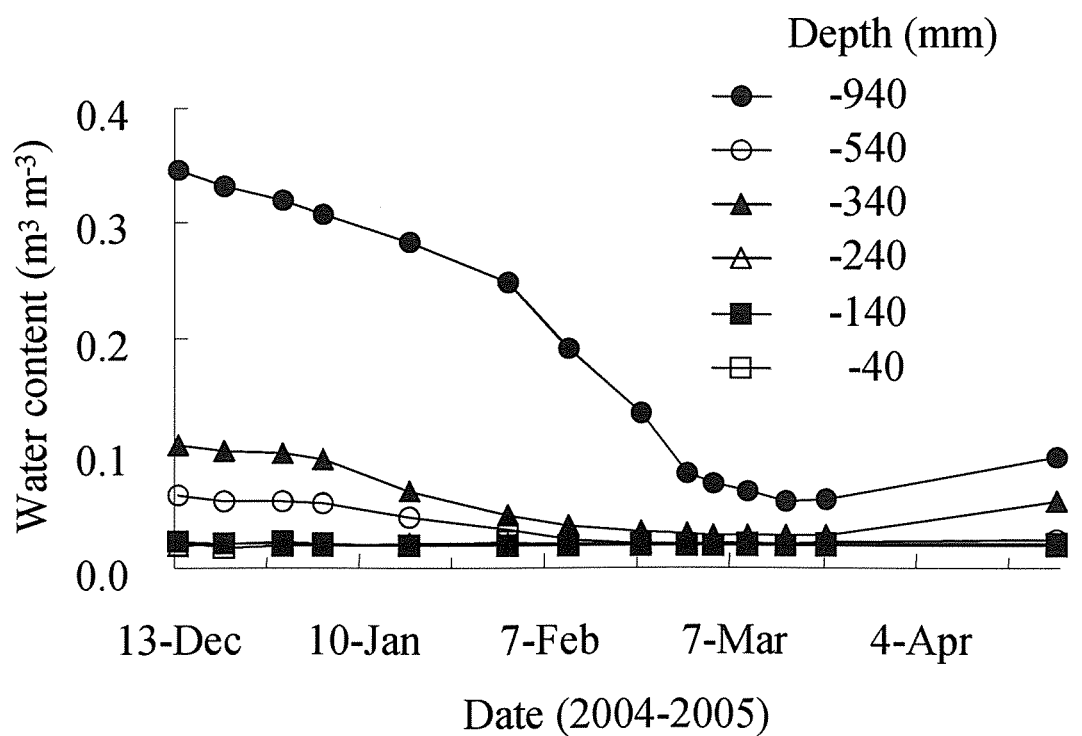


Fig. 18 Actual soil moisture movement of the conventional plot

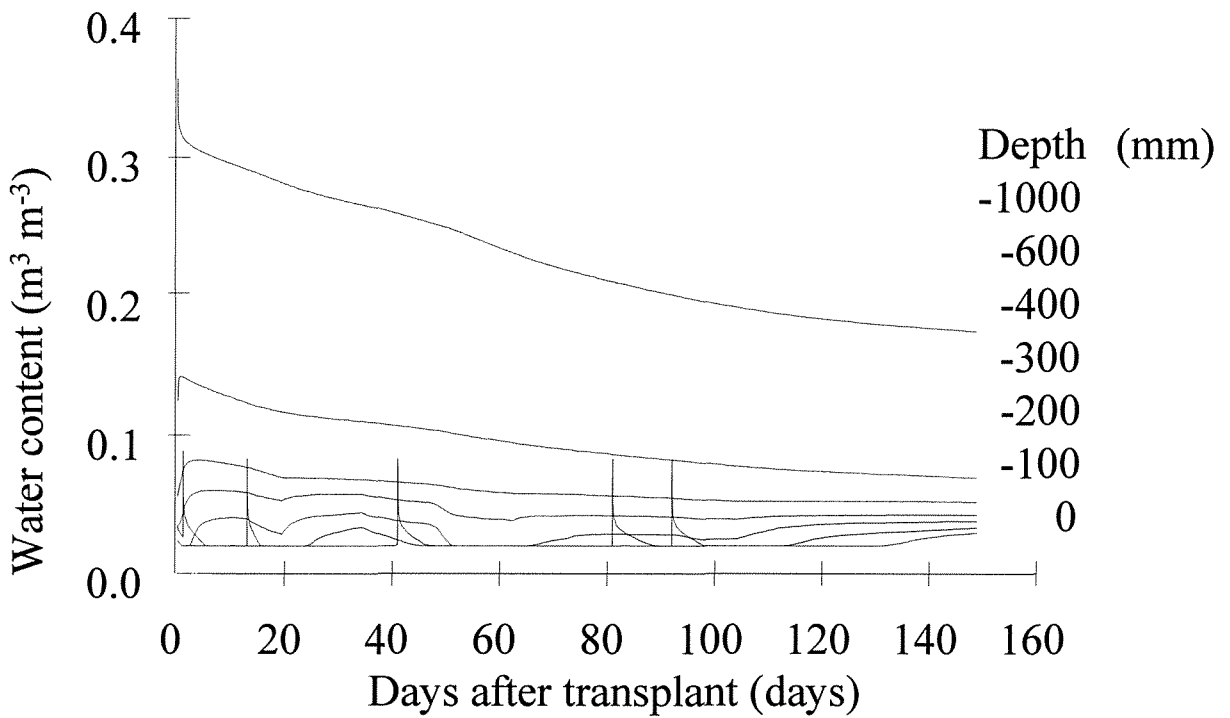


Fig. 19 Simulated soil moisture movement of the water-saving plot

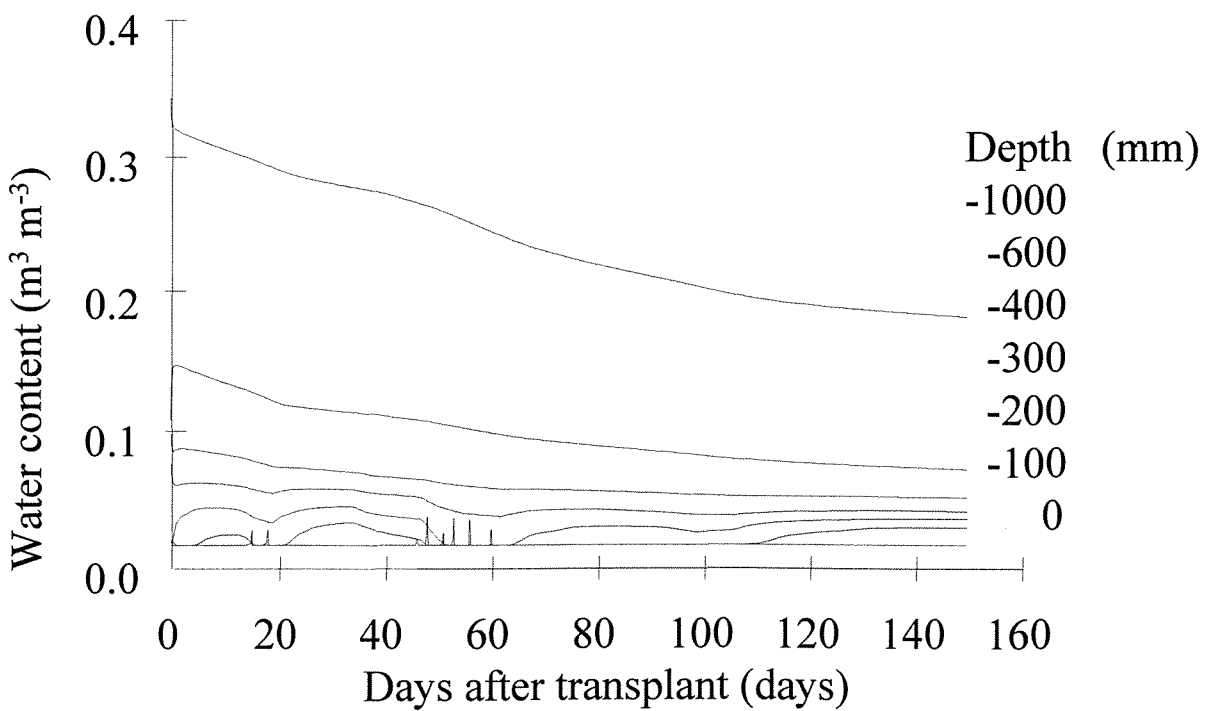


Fig. 20 Simulated soil moisture movement of the conventional plot

3. 土壌タイプ別の節水栽培シミュレーション

東北タイ地方の典型的な土壌タイプにおける，最終的な土層全体（0～1200mm）の土壌水分減少量，積算実蒸散量および積算実土壌面蒸発量のシミュレーション結果を Table 5 に示す．土壌水分減少量は， $Pm < Np < Ub < Re$ の順であった．積算実蒸散量は， $Ub < Np < Re < Pm$ となった．また，積算実蒸発量は， $Ub \approx Np < Re < Pm$ の順であった．

土壌の水分供給量は積算実蒸散量に表れていることから，これを基準に評価すると，技術が開発された Np よりも Re ， Pm は条件が良く， Ub は条件の悪いものの Np との差はわずかである．したがって，節水栽培技術は東北タイの広い範囲の土壌タイプに適用性があると判断された．乾砂層の効果の大きい， Np および Ub に比べ， Pm の積算実蒸発量は約 2 倍であるが，土壌水分の保持力の高さがそれを補って余りある実態が見て取れる．

Table 5 Results of simulations on the typical soil types

Soil moisture decrease (mm)	Soil Type			
	Nam Phong[a]	Ubon	Roi-Et	Phimai
Cumulative actual evaporation	10.0	9.9	26.5	22.5
Cumulative actual transpiration	7.2	5.9	19.4	39.6
infiltration	201.2	240.7	228.4	16.8
Total	218.4	256.5	274.3	78.9

[a]The soil type of the experiment field

小 括

シミュレーションを用いた栽培技術の適用性評価の試みを、節水栽培技術を対象に行った。対象技術は、東北タイの乾季において、標準灌水量の約 100 分の 1 の灌水量で実施するという、一見不合理なものであった。しかし、シミュレーションの結果、乾砂層形成後は地表面蒸発が低下し、土壌中には雨季の土壌水分のかなりの部分が保存されることがわかった。栽培開始時点での地表面蒸発はほとんどゼロに等しく、プラスチックマルチ使用せずとも、乾砂層を維持したまま栽培を行うならば、節水栽培が可能であることも確認できた。つぎに、東北タイの代表的な土壌タイプについて、技術の適用性の難易を評価した。その結果、節水栽培技術は東北タイの広い範囲の土壌タイプに適用性があると判断された。

本シミュレーションは土壌の違いに的を絞り、出来る限りシンプルな条件で行うことを意図し、1次元のシミュレーションソフト HYDRUS-1D を用いた。HYDRUS-1D は無償で入手できるので、本手法を実際に節水栽培の適性判定に使用する場合にも好都合であろう。

第4章 東北タイ砂質土壌地域における乾季の土壌水分動態

摘 要

東北タイ，コンケン県内の近接する2つの小流域において，2005年から2006年にかけての乾季に，地下1mまでの土壌水分をプロファイルプローブ（Delta-T Devices社PR-1）を用い，総計76地点でモニタした．観測地点では10月から乾季に入り，11月に時期はずれの30mm程度の降水があったが，観測期間中は1mm以上の降水はなかった．両小流域の地下1mまでの平均土壌水分量は，12月初旬で132mm，2月初旬で109mmであった．見かけ上の減少量23mmは，この期間の蒸発ポテンシャル324mmより大幅に小さかった．土壌水分は観測点により大きな違いがあったが，小流域の谷線方向および横断方向，いずれも標高による地形の影響は明瞭でなかった．一方，植生の影響は大きく12月の植生別土壌水分量は，森林25，休閑畑（雑草）79，キャッサバ96，サトウキビ131，休閑田（雑草）147，水稻後（ほぼ無植生）163mmであった．また，2月までの減少量は，森林3，休閑畑（雑草）19，キャッサバ30，サトウキビ26，休閑田（雑草）28，水稻後（ほぼ無植生）18mmであった．土層別の分布についてみると，一般に深い層ほど水分が高かった．ただし森林は例外で，地表から地下1mまで水分分布が均質であった．これは観測開始時点ですでに乾燥しきっていたためと考えられた．そこで，森林土壌の水分22mmは無効水分と仮定すると，調査サイトにおける12月初旬時点の利用可能水分量は，水稻後で141mmあると推察された．蒸散係数はトウモロコシで約100，一般の作物では200～500とされている．141mmの水分は，トウモロコシで約1.4，一般作物で0.3～0.7kg・m⁻²の乾物生産が可能な量である．

キーワード： 砂質土壌，植生，天水農業，東北タイ，土壌水分

緒 言

第 3 章ではシミュレーションを用いて、ノンセン村で開発された節水栽培技術が東北タイの広い範囲で適用できる可能性があることを検証した。しかしながら、実際の環境は単純ではなく、土壌水分は地形や植生に大きな影響を受けていると想像される。そこで本章では東北タイの典型的な小流域について、乾季の土壌水分の動態について実際に調査し、明らかにする。

材料及び方法

1. 調査サイト

調査サイトのあるノンセン村は、東北タイ・コンケン県のコンケン市の南方およそ 30km に位置する(Fig. 21)。チー川の支流、ムーン川水系の緩やかな傾斜地である。主として低地は水田、高地はサトウキビ、キャッサバが栽培されている。典型的な砂壤土ないしは壤質砂土地帯で、水分保持力は一般的に小さいとされる(Suzuki et al, 2006)。JIRCAS の天水プロジェクトの調査サイトは 2 つの小流域 (NS-1, NS-2) からなっている(Ogura et al., 2006)。NS-1 はおよそ 2 km の長さで傾斜は 1%、NS-2 はおよそ 1.5 km で傾斜は 1.2%。横断面の傾斜はともに約 3%である。土壌は 1 m の壤質砂土層の下に 4 m の砂質埴壤土層があり、その下には 30 m 以上の砂岩層がある。各層の浸透速度はそれぞれ $(5.0-9.4) \times 10^{-4} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $(1.1-9.8) \times 10^{-6} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ そして約 $1 \times 10^{-2} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ である (Hamada et al., 2005, 2006)。



Fig. 21 Location of the study site

2. 調査方法

2005年11月18日から2006年2月8日にかけて、総計76地点の土壌水分を測定した(Fig. 22)。地形の影響を解析するため、各小流域とも測定地点は谷線および横断線に沿って設定した。谷線は小流域の始点から終点までを測定した。横断線は圃場が等高線状に区画されているのに従って6段階に区分した。谷底(level 0, ex. NS-1 10a)とそれに続くレベル(level 1, ex. NS-1 11a)は、湿地1点(NS-1 34w)を除きは全て水田であった。それより高位のレベル(levels 2~5, ex. NS-1 12s~15f)は畑地ないしは森林であった。植生の影響を解析するため、測定地点はTable 6に示すように、異なる植生を含むように配置された。表中のFallowは雨季に作付けされなかったために雑草が繁茂したエリアである。After-riceは水稲作後の放牧されたほぼ無植生のエリアである。各植生の割合は次のとおりである。

NS-1, forest:upland:paddy = 3:53:44

NS-2, forest:upland:paddy = 8:45:47

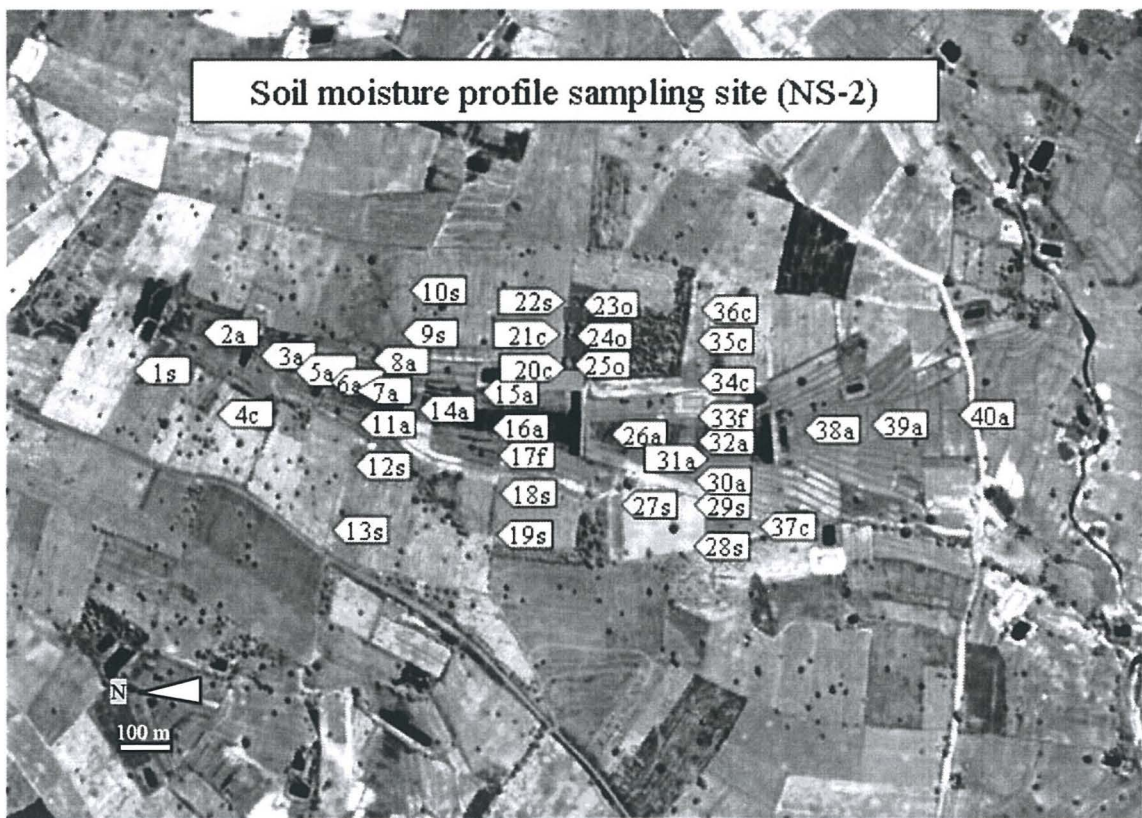
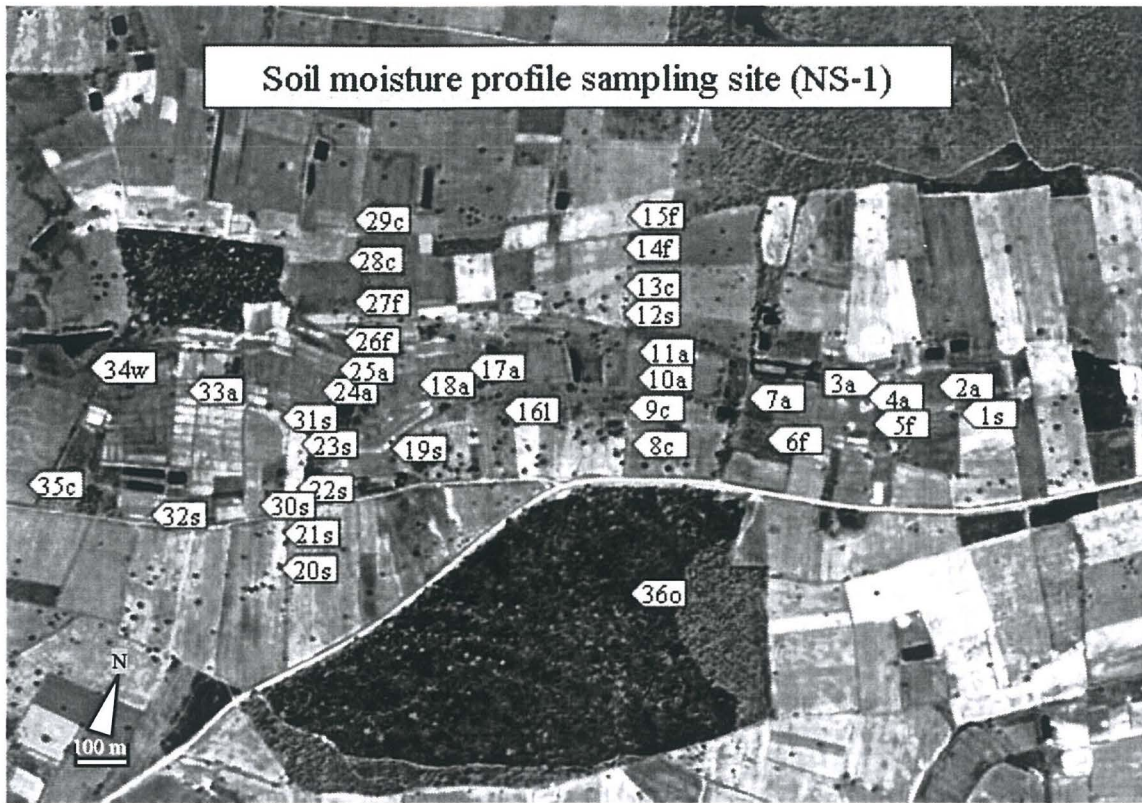


Fig. 22 Monitoring points for soil moisture
 a; after-rice, c; cassava, f; fallow, l; lunc grass,
 s; sugar cane, o; copse, w; swamp

Table 6 Characteristics of the monitoring points

Land Use	Crop	No. of Plots		
		NS-1	NS-2	Total
Forest	Copse	1	3	4
	Cassava	6	7	13
Upland	Sugarcane	10	11	21
	Fallow [a]	3	—	3
Upland total		19	18	37
	Fallow [a]	3	2	5
Paddy	After rice [b]	11	17	28
	Lune grass	1	—	1
Paddy total		15	19	34
Swamp		1	—	1
Grand Total		36	40	76

[a]: Covered with weed because of no cropping in the rainy season.

[b]: Little vegetation due to cattle-raising.

土壌水分の測定には、誘電率計測法の一つであるプロファイルプローブ水分計 (PR-1/6, Delta-T Devices 社) を用いた。誘電率計測法は塩分の影響を受け難いとされている。本水分計は、土壌に長さ 1m のアクセスチューブを埋設、放置し、長さ 1.2 m のプローブをチューブに差し込んで測定を行うもので、1 本のプローブで同一地点の複数深さ (深さ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 1.0 m) を同時にかつ経時的に計測することができる。測定値 (電圧) は、現地土壌によるキャリブレーション式で土壌水分量へ換算した eq(1)。

$$y = 7.17E-04x - 6.05E-02 \quad (R^2 = 0.951) \quad (1)$$

y: water volume content ratio, x: voltage (mV)

気象データは村の中心地(16° 10' 8.25" N, 102° 47' 39.08" E)に気象観測装置 (Weather Bucket™, SEC Ltd., Hakodate, Japan)を設置して計測した。観測地点は NS-1 および NS-2 からともに 2 km の位置にある。

土壌水分量は-0.1, -0.2, -0.3, -0.4, -0.6, -1.0 m の各点における土壌水分を比例配分して算出した。アクセスチューブの設置に数日を要したため、観測開始日はズレがある。またアクシデントにより何点かは観測を中断した。

結 果

1. 調査年の降水量

2005 年の年間降水量は 642 mm であった。また 8, 9, 10, 11 月の月間降水量はそれぞれ 118, 172, 9, 30 mm で、月間降水日数はそれぞれ 17, 26, 6, 7 日あった。乾季の始まりは 10 月 13 日であるが、11 月 7 日に 25 mm の例外的降水があった。

12月21, 22日および2006年の1月2, 3日にも降水があったが, これらはいずれも1 mm未満であった. つまり土壌水分の観測期間中は, ほぼ無降水であった. 最寄りの公的気象観測所は, 気象観測装置の設置場所からおよそ6 km離れたバンヘッド役場で, ここでの2005年の年間降水量は841 mmであった. これは1991–2005年の観測平均1047 mmより166 mm少ない.

2. 小流域の平均土壌水分の推移

小流域の平均土壌水分の推移は, NS-1 と NS-2 でほぼ同じであった(Fig. 23). なお, NS-2 が11月時点で高く12月に急激に落ちているのは, 設置が半分しか終了していなかったためである. 平均土壌水分量は12月7日時点でNS-1 が136mm, 12月6日時点でNS-2 が127 mmであり, 2月8日時点でNS-1 が112 mm, 2月7日時点でNS-2 が106 mmであった. 土壌水分量の減少量はNS-1, NS-2 それぞれ, 24 mm, 21 mmであった. Fig. 24 は, 深さ別土壌水分の推移を示したものである. -0.1 m 層は大きな変化を示しているが, -0.2 m 以下の層は変化が小さい.

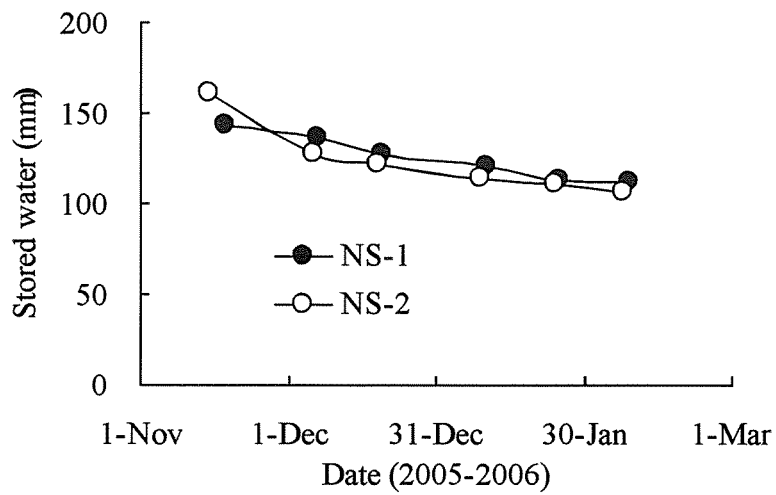


Fig. 23 Average stored water in the watershed up to a depth of 1 m

The data of November in NS-2 was not including all observation points because of not completed to set equipments.

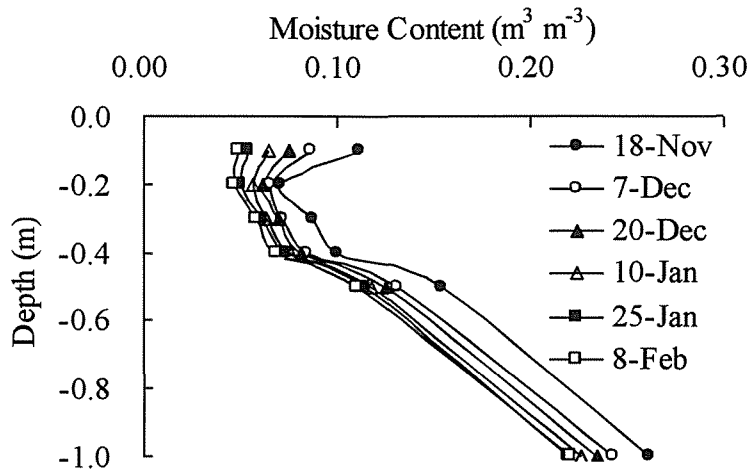


Fig. 24 Average soil moisture content of the watershed

The data of “18-Nov” was not including all observation points because of not completed to set equipments.

3. 地形の影響

Fig. 25 は NS-1 と NS-2 の谷底の土壤水分を示した図である。地表から-1.0 m における小流域の土壤水分はももには乾季を通じて変化しなかった。また、標高と土壤水分の間に相関は認められなかった。地表から-0.1 m における土壤水分の変化は明瞭であったが、その変化は地点ごとに異なり、標高との相関は認められなかった。

Fig. 26 は小流域の横断方向の平均土壤水分量を示した図である。NS-1, NS-2 ともに、谷底 0P とその 1 段上 1P は全て水田、それより高位の区画は畑地である。水田の土壤水分量は畑地より有意に大きかった。他方、12 月 7 日から 2 月 8 日にかけての土壤水分の変化量は水田の方が畑地より小さかった。水田では標高差による土壤水分量に差は認められず、畑地内においても標高差による土壤水分量の差は認められなかった。

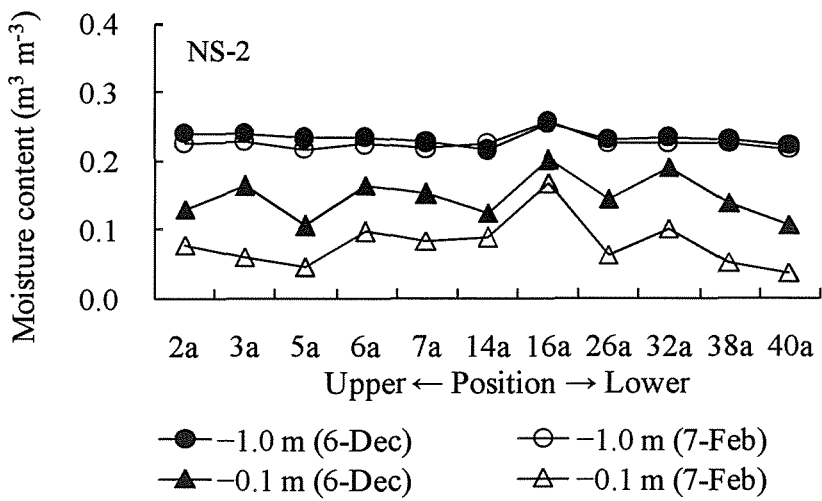
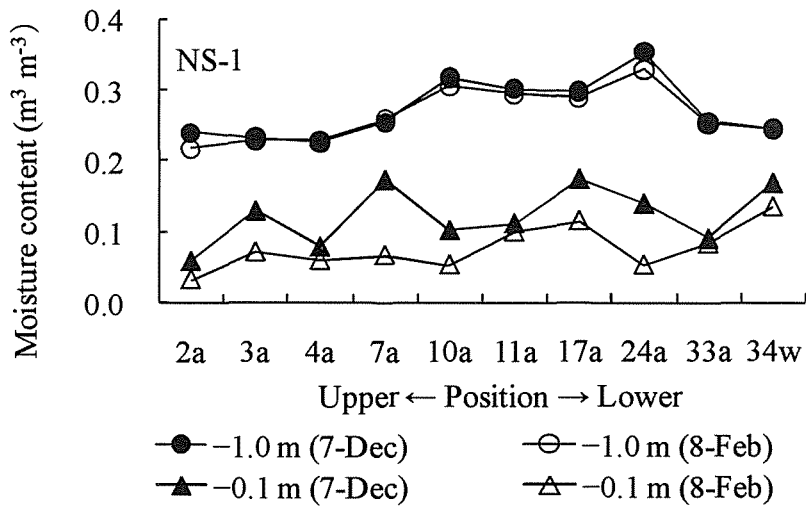


Fig. 25 Soil moisture of talweg of the watershed

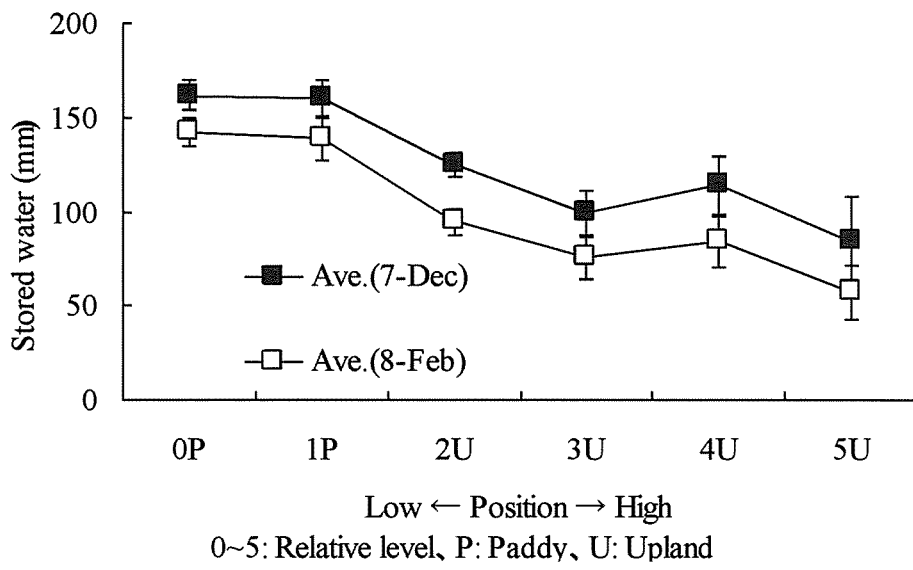
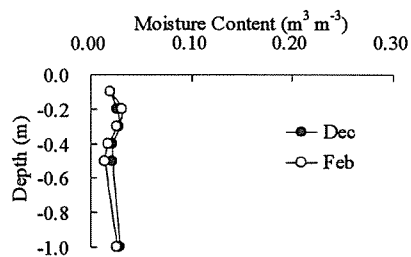


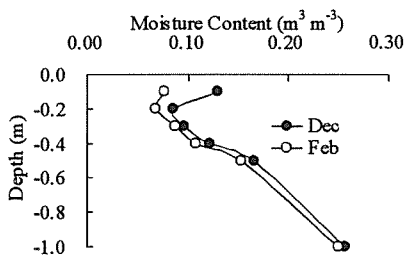
Fig. 26 Soil-stored water along the cross line of the watershed up to a depth of 1 m
Values are means \pm SE.

4. 第4項 植生の影響

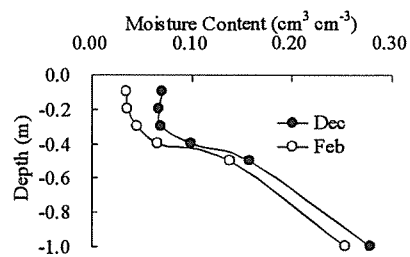
Fig. 27 は異なる深さの土壌水分を植生別にみたものである。森林では表層から深層まで一様に土壌水分が低かった。しかも12月と2月の差はほとんどなかった。これは森林の土壌水分が、観測を開始した12月20日にはすでに消費し尽くされていたことを示している。水田では土壌の深い位置ほど水分が高くなっていた。ただし、-0.1 mは例外で、-0.2 mより高かった。これは11月の降水の影響と考えられた。-0.2 m以下の土壌水分は観測期間中ほとんど変化が見られなかった。ただし、休閑地は例外であった。乾季中の水田（水稲後）は、収穫後の放牧によりほとんど無植生であった。他方、休閑水田は雑草が繁茂し、水稲後より植生が多かった。畑地（サトウキビ、キャッサバ、休閑地）では、水稲後のような-0.1 mの逆転は見られず、土壌水分は土壌の深い位置ほど高くなっていた。乾季中の変化は、深さによらず同様に平行的であった。12月時点における土壌水分量は、休閑地<キャッサバ<サトウキビの順であった。



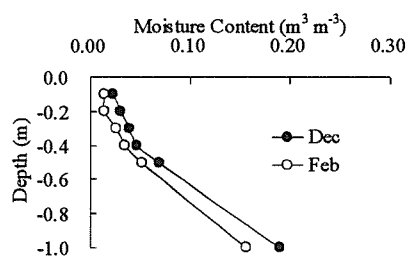
Forest (1) [a]



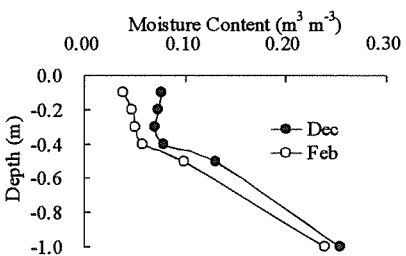
After Rice (23)



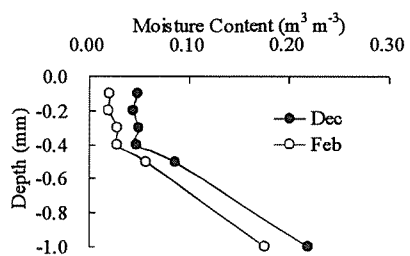
Fallow Paddy (4)



Fallow Upland (3)



Sugarcane (16)



Cassava (13)

Fig. 27 Soil moisture movements at various soil depths with different vegetations

December 6 and 7, February 7 and 8; the values in parentheses indicate the number of monitoring points.

[a] 20 December.

考 察

1. 乾季の残存土壌水分

12月の全観測点の平均土壌水分量は132 mmであった。60日後、この値は109 mmとなった。水分減少量は23 mmである。これは東北タイの平均日蒸発量ポテンシャル5.4 mm(Saenchan, 1997)をもとに計算される蒸発ポテンシャル324 mmよりはるかに小さい。他方、乾砂層による蒸発抑制効果を考慮した Oda and Moroizumi (2007) のシミュレーションによれば、乾季に入って2週間目以降の日蒸発量は 0.4 mm day^{-1} とされている。これに基づいて計算すると、総蒸発量は24 mmと見積もられる。観測結果はこの値に近い。

2. 土壌水分変動の主因

標高差が土壌水分に及ぼす影響は、谷線、横断線ともに明瞭ではなかった(Figs. 5, 6)。これは、観測開始時点の土壌水分が不飽和であったためと考えられる。不飽和の状態では、土壌水分の移動は無視できるレベルであることが知られている(Taniyama and Miura, 1991)。これに対して、植生の違いが土壌水分に及ぼす影響は明瞭であった(Fig. 27)。Fig. 28は植生別に12月と2月の土壌水分量の変化を比較した図である。森林における土壌水分量は極めて小さく、25 mmと22 mmであった。土壌水分量は森林<休閑畑(雑草)<キャッサバ<サトウキビ<休閑田(雑草)<水稻後(ほぼ無植生)の順であった。

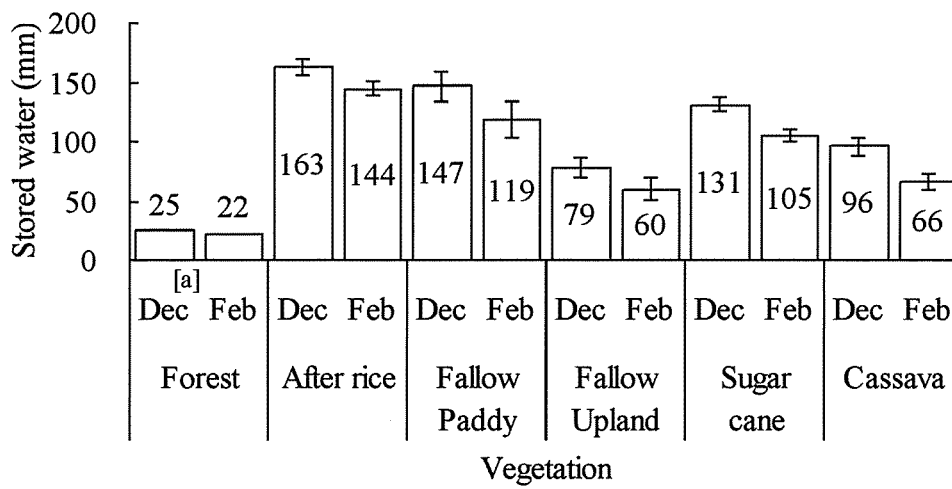


Fig. 28 Soil-stored water in fields with different Vegetations up to a depth of 1 m

December 6 and 7, February 7 and 8. Values are means \pm SE.

[a] 20 December.

Fig. 29 は植生別に土壤水分量の減少量を示したものである。キャッサバおよびサトウキビにおける減少量は水稻後より大きい。水田と畑地には共通の作物はなく、比較できないが、休閑地は両方に存在する。休閑地における水田と畑地の土壤水分減少量には 5%水準で有意な差は認められなかった。以上の結果は土壤水分の違いが主として植生によることを示している。

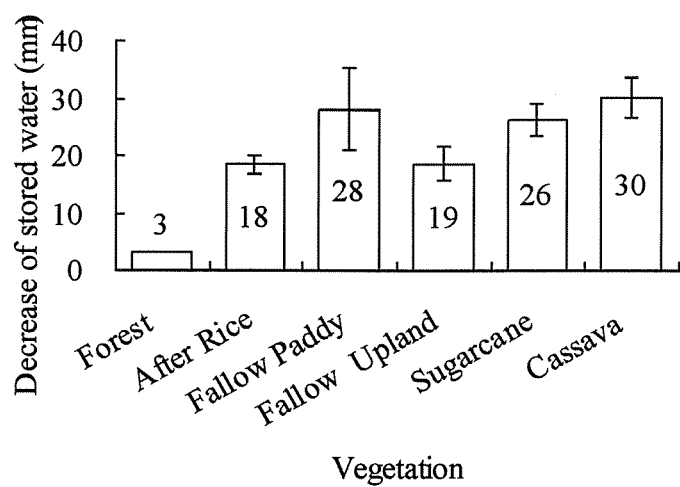


Fig. 29 Decrease in soil-stored water

Values are means \pm SE.

3. 乾季の有効土壌水分量

森林の土壌は非常に乾燥しており、12月と2月でほとんど差がなかった(Fig. 7). 2月には、土壌が乾燥しきっていたと考えられる。したがって、この土壌水分量 22mm を無効土壌水とし、地表から地下 1 m までの土層に含まれる水分から、22 mm を差し引いた残りを有効土壌水分量とすると、12月初頭の小流域 NS-1 の有効土壌水分量は 114 mm、NS-2 では 105 mm となる。平均では 110 mm である。しかしながら、有効土壌水分量のポテンシャルを評価するという意味では、植生の影響が最も小さい水稻後を基準とするべきであろう。その値は、水稻後の 12 月の土壌水分量は 163 mm であることから、有効土壌水分量は 141 mm と見積もられる。

作物生産に要する蒸散量を乾物あたりで表わした蒸散係数は、トウモロコシで約 100、作物一般には 200~500 とされている(Naito, 1975)。したがって、141 mm の水分量は最大で $1.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ のトウモロコシあるいは $0.7\sim 0.3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ の一般作物を生産できる水分量である。

小 括

調査対象の小流域の土壌水分は、12月2月にかけて平均で 23 mm 減少した。これは蒸発ポテンシャル 324 mm よりはるかに小さく、乾砂層による蒸発抑制効果を考慮したシミュレーションの結果 24 mm に近かったことから、シミュレーションで示された乾砂層の効果が裏付けられた形となった。土壌水分量は場所により変動したが、標高の違いが及ぼす影響は明瞭ではなく、植生の違いが及ぼす影響が大きかった。地表から深さ 1 m までの土層に含まれる有効土壌水分量は、植生がない場合、12月初頭でおよそ 140 mm と見積もられた。現地におけるトマトの県平均収量はおよそ $1000 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ である。乾物率を 7% とすると $70 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ であり、蒸散係数を 350

と見積もると、24.5 mm の消費水量となる。140 mm の土壌水分量は十分な量といえる。しかし現実には雑草などを放置しておくとも土壌水分は消費されてしまうので、雨季終了後早い時期に耕うんするなど、土壌水分量の保持に努める必要がある。また、土壌水分量が不足気味であるときは、定植前に一時に灌水して水分を補給するとよいであろう。

総括および結論

1. 節水栽培の成立要因

第 1 章では、日本で実績を有する節水栽培法が、東北タイの乾季という厳しい乾燥条件下でも適用可能であることを、現地におけるモデル栽培試験（以下モデル試験）により確認した。試験は 55 日間の無降水期間を含む厳しい乾燥条件下で実施されたものであったが、生育解析の結果は、節水栽培の成否が水分以外の要素によることを示唆していた。このような結果がもたらされた理由は、生育に必要な水分が土壌水分で賄っていたためと考えられる。モデル試験では、定植後 11 日目に 29 mm の降水があり、その時点で圃場の作土は一旦、圃場容水量に達していた。この土壌水分は、第 3 章でシミュレーション（以下シミュレーション）を用いて明らかにしたとおり、乾砂層の発達により、栽培期間中長期にわたって維持されていたと考えられる。節水栽培の成立原理が上述のようなものであるとすれば、東北タイの砂質土壌地域では、土壌水分を利用して、ごく少量の灌水で野菜栽培を行えることになる。

第 2 章の農民参加型技術開発では、農家が各自の圃場において多様な条件で実施した試験（以下農家試験）により、多くの試験区で慣行並みの収量を達成し、上述の節水栽培法が実証された。農家試験においても灌水量と収量の間に関係は無く、節水栽培の成否が水分以外の要素によることが確認された。一般的にこの地域では、1~1.5 m の厚さの壤質砂土層が存在し、雨季の降水が土壌水分として蓄えられている。第 4 章の土壌水分動態調査（以下土壌水分調査）の結果に見るように、地下 1 m までの平均土壌水分量は、12 月初旬時点の水稲

後で 163 mm あり，利用可能水分量にして 141 mm が存在する．現地におけるトマトの県平均収量はおよそ $1000 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ である．乾物率を 7% とすると $70 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ であり，蒸散係数を 350 と見積もると消費水量は 24.5 mm に過ぎず，140 mm の土壤水分量は，茎葉の乾物を見込んだとしてもトマトの生産に十分な量といえる．農家試験において，唯一，全試験区が収穫皆無となった農家については，壤質砂土層が 0.3 m しかなく，その下は礫であり，土壤水分量が格段に少ない条件であった．

日本で実績を有する節水栽培法が，同じく土壤水分の利用によるものであるか否かは別途検証が必要である．しかし，シミュレーションの結果が試験地の土壤の水分供給能は東北タイの代表的土壤タイプの中でも低い部類に属すること，および日本の気候の方が湿潤である点を考え合わせると，日本の節水栽培法も土壤水分の利用によるものである可能性が高い．

2. 節水栽培における栽培管理

実用的な節水栽培技術の開発にあたっては，実施農家の圃場環境および社会環境も考慮した技術開発を行う必要から，「発明モデル」による農民参加型技術開発を行った．9 圃場で行われた 44 種類の試験結果を総合すると，以下のことが言える．まずマルチについては，プラスチックマルチ，稲わらマルチ間に明瞭な収量の差は見られず，無マルチでも 8 mm の灌水量で県平均収量を得た例があった．したがって，プラスチックマルチは必須ではなく，無マルチでも栽培可能であると結論できる．マルチについて農家は，プラスチックマルチは稲わら等の現地資材で代替できると結論している．つぎに施肥管理については，灌水により溶出した化成肥料（尿素）が濃縮され，濃度障害を招いたケースがあったことは注意を要する．化成肥料が作物に吸収されるためには，水に溶ける

必要があるが、灌水量が少なければ濃度障害を引き起こす恐れが生じる。永田の栽培法が低濃度の液肥を用いているのは、上記の問題を回避するためであると推察される。全体的には多数の試験区で慣行収量を達成できたことから、化学肥料による濃度障害の問題さえ回避すれば、特別な栽培法を講じなくても慣行レベルの収量水準が達成できると見てよいと思われる。「発明モデル」による農民参加型技術開発の成果は、参画農家にとってはすでに検証済みの実用技術となっている。それらの技術について農家間で情報が交流されており、今後も各農家による技術改良が続けられていくであろう。

3. 東北タイ砂質土壌地域における節水栽培の適地

シミュレーションの結果、雨季を有する東北タイ砂質土壌地域では、雨季の降水が土壌水分として乾季中も長期にわたって維持されることが示された。また、乾砂層の発達によって地表面蒸発速度が極めて小さくなる結果、節水栽培に必要な水分は、ほぼ蒸散量で見積もってよいことも明らかとなった。乾季の土壌水分調査では、地表から1mまでの土壌水分量に関して地形の影響は有意でなく、植生の影響のみが有意であった。この事実は、土壌水分が降水により均一化したのち、植物の蒸散によって土壌水分のばらつきが出たと推察され、シミュレーションの結果とも符合する。したがって、植生がない場合は野菜作に十分な土壌水分量が存在すると考えられることから、一般的には東北タイ砂質土壌地域全域で、土壌水分を利用した節水野菜栽培が可能である。東北タイではサトウキビ、キャッサバといった畑作物が無かんがいで広く栽培されているが、この事実も、作物生産に十分な土壌水分の存在を示すものである。

砂質土壌地域については、東北タイの代表的土壌タイプに関するシミュレーションの結果、たとえば粘土質土壌では、乾砂層による地表面蒸発の抑制効果

はないが、水分保持量が大きいため、結果として砂質土壌より大きな水分供給能をもっていることが示されている。このことから、砂質土壌地域以外にも土壌水分を利用した節水栽培が適用できる可能性は高い。

土壌水分が、前作、雑草等によりすでに消費されている場合、土壌水分を補給する必要がある。シミュレーション結果によれば、灌水量が日蒸発量を下回る場合、かんがい水は地表面から蒸発しきってしまい、灌水によって土壌水分は増加しない。したがって、節水栽培において土壌水分を補給するには、圃場容水量に達するまでの量を一時に灌水すると最も効率が良い。なお、農家試験でも、栽培開始前に大量灌水した例では、生育が斉一化しており、土壌水分補給の効果が実証されている。

4. 結論

乾燥環境への順化を利用したと思われる日本の篤農の節水栽培法は、東北タイ砂質土壌地域の乾季にも適用可能であった。そして、極めて少ない灌水量による栽培を可能としているのは、生育に十分な量の土壌水分の存在であった。この土壌水分は雨季の降水が、乾砂層により地表面蒸発が小さくなることで保存されたものであり、東北タイの砂質土壌地域では普遍的に存在する。灌水量を別にすれば特別な栽培法を講じる必要はなく、土壌水分を利用した節水野菜栽培は農家が広く採用できるものである。

従来、東北タイの乾季野菜栽培においては、地表面蒸発量に相当する灌水が必要とされてきた。また、その水利用効率向上のために土壌面蒸発ロスを防ぐという発想から、点滴かんがいシステムなど的高額な設備が存在した。これに対し本研究では、圃場の土壌水分動態を踏まえることにより、より水利用効率の高い節水野菜栽培が、特別な設備を用いることなく実施できることを示した。

本研究は東北タイ砂質土壌地域を対象としたものであるが、他の気象環境、土壌タイプにおいても同様のアプローチにより水利用効率の向上は可能であると思われる。本研究が水資源問題克服の一助となることを願う。

謝 辞

本研究の過程において、終始懇切なるご指導とご鞭撻を賜り、本論文のとりまとめに際して、親切なご助言と力強い励ましをいただいた、鳥取大学農学部中田昇教授に、心より御礼申し上げます。

本論文の審査過程において、数々のご助言とご指導を賜りました、鳥取大学農学部山口武視教授、山口大学農学部執行正義教授、島根大学生物資源科学部青木宣明教授、鳥取大学乾燥地研究センター山本定博教授に深謝申し上げます。

また、はるばるタイのコンケンまでご足労いただき、学位取得のご激励を賜りました稲永忍鳥取大学名誉教授（前国際農林水産業研究センター理事長）、本研究の土壌水分シミュレーションをご担当いただくとともに、つくばでの学会発表に付き添っていただいた上、初の査読論文をご指導いただいた岡山大学環境理工学部諸泉利嗣准教授、ならびに天水農業プロジェクトの研究に携わった、国内外の皆様に御礼申し上げます。

最後に、学部在籍時より様々なご助言とご激励を賜り、現在まで迷える私を導いて下さった、津野幸人先生、そして研究職人生のスタートにおいてご指導をいただくとともに、終生見守っていただいた故村上利男博士に心より感謝を申し上げます。ありがとうございます。

引用文献

- Caldwell, J. 2000. *ファーミング・システム研究, 理論と実践*. 農水省国際農林水産業研究センター(つくば) p. 417
- Costa, J. M., M. F. Ortuno and M. M. Chaves 2007. Deficit irrigation as a strategy to save water: Physiology and potential application to horticulture. *J. Integr. Plant Biol.* **49**: 1421-1434.
- Ehret, D. L. and L. C. Ho 1986. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *Ann. Bot.* **58**: 679-688.
- Franco, J. A., P. J. Pérez-Saura, J. A. Fernández, M. Parra and A. L. García 1999. Effect of two irrigation rates on yield, incidence of blossom-end rot, mineral content and free amino acid levels in tomato cultivated under drip irrigation using saline water. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* **74**: 430-435.
- Hamada, H., S. Sukchan, T. Moroizumi, H. Watabe and S. Hasegawa 2005. Use of bromide to trace infiltration of rainfall through sandy soil in Northeast Thailand. *Japan Agricultural Research Quarterly.* **39**(1): 29-35.
- Hamada, H., T. Moroizumi, H. Watanabe, K. Srisuk and S. Hasegawa 2006. Soil Water and Groundwater in Nong Saeng. *JIRCAS WR.* **47**: 27-31.
- Horne, P., A. Braun, J. Caldwell and O. Ito 2002. Improving adoption of agricultural technologies: How participatory research can complement conventional research approaches. CD ROM. Tsukuba, Japan: CIAT/JIRCAS/PRGA.
- JIRCAS 2006. Improvement of water utilization and diversification of agricultural production through a participatory approach in rainfed agricultural areas of Indochina.

<http://www.jircas.affrc.go.jp/english/research/activities/project/pro02B-01.html>.

JIRCAS (Tsukuba).

Li, L., C. Stanghellini and H. Challa 2001. Effect of electrical conductivity and transpiration on production of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Sci. Hort.* **88**: 11-29.

Mitsuchi, M., P. Wichaidit and S. Jeungnijirund 1986. Major soil in the Northeast, Outline of soils of the northeast plateau Thailand their characteristics and constraints. Technical Paper No. 1. Agricultural Development Research Center (Khon Kaen) p. 48.

中川恭二郎・野中正義 1964. 果菜類の畑地かんがい栽培. 農業及園芸 **39**: 57-64.

永田照喜治 1987. 緑健農法. 農文協(東京)p. 202.

Naito, F. 1975. *Norin Suisan Bunken Kaidai* **3**: Upland Irrigation. http://rms1.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/contents/kaidai/hatatikangai/3-2-2_h.html. Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council (Tokyo).

Oda, M. and T. Moroizumi 2007. Evaluation of the applicability of the water-saving vegetable cultivation technology by the soil moisture simulation. *J. JASS* **23**: 245–250.

Oda, M., U. Sukchan and J.S. Caldwell 2006. The Invention Model: A new type of farmer-researcher partnership created in developing water saving technologies. *JIRCAS WR.* **47**: 115–120.

Ogura, C., S. Sukchan, A. Suchinal and M. Putso 2006. Surface water and land resource use in small watersheds. *JIRCAS WR.* **47**: 17–22.

Radcliffe, D. and J. Šimůnek 2004. Introduction to soil physics with HYDRUS: modeling and applications, CRC Press (Prague) p. 250.

Rassam, D., J. Simunek, and M.T. van Genuchten 2003. Modelling variably saturated

- flow with HYDRUS-2D. ND Consult (Brisbane) p. II .1- II .5.
- Shiklomanov, I, A 1996. Assessment of water resources and water availability in the world. WMO.
- Saenchan P. 1997. Major soil in the Northeast. Irrigation agriculture. Khon Kaen University (Khon Kaen) p. 308.
- Šimůnek J., M. Sejna and M.T. van Genuchten 2005. HYDRUS-1D for Windows. http://www.pc-progress.cz/Pg_Hydrus_1D.htm. pc-progress s.r.o. (Prague).
- Snapp, S. S. 1999. Mother and baby trials; A novel design being tried in Malawi. Taget Newsletter of the Southern African Soil Fertility Network 17: p8.
- Suzuki, K., Y. Yamamoto and S. Sukchan 2006. Hydrologic modeling in small watersheds. JIRCAS WR. 47: 11–15.
- Taniyama, I and K. Miura 1991. Shallow groundwater movement in sandy texture field and its effect on cassava root growth in Northeast Thailand, J. JSSP 63: 3–12.
- 種田行男 1959. 蒸通発量に関する実験的研究(IV). 農土研 27: 1-6.
- 富高弥一平 1974. そ菜の蒸発散量に関する研究(第2報):かんすい量の相違がトマトの蒸発散量に及ぼす影響. 農学集報 18: 199-205.
- Van Genuchten, M. Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 892-898.
- 山本一清 2005. LIA for Win32 (LIA32).
<http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/%7Eshinkan/LIA32/index.html>. 名古屋大学(名古屋).
- 山本太平 1998. 少量頻繁のかんがい方式による節水的タンクかんがいシステムーサヘル地帯の生産緑地における持続的かんがい計画ー, 乾燥地の生産緑地における節水的かんがい計画と塩類モニタリング・システム開発研究(基盤研究A(2)報告書): 1-14

Zegbe, J. A., M. H. Behboudian and B. E. Clothier 2007. Response of tomato to partial rootzone drying and deficit irrigation. *Revista Fitotecnia Mexicana* **3**

総 摘 要

東北タイでは農民の生活向上のため、ため池を活用した乾季野菜栽培が奨励されている。しかし、灌水できる水量は乏しく、コストや労力の問題も大きい。日本には、高品質野菜の栽培法として、慣行の 100 分の 1 の灌水量でトマトを栽培する篤農技術が存在する。この節水栽培技術が適用可能であれば、東北タイの現状を改善できる可能性がある。しかしながら、乾燥環境への順化を利用したと思われるこの技術の成立原理についての既存研究は見当らず、異なる環境への適用性も不明であった。

本研究では、まず、乾燥環境への順化を利用した野菜の節水栽培法の適用性を、東北タイの乾季における栽培試験により確認した。つぎに、農民参加型技術開発手法により、実用的節水野菜栽培法の開発を試みた。そして、その圃場の土壌水分動態をシミュレーション上で再現して水分収支を解析するとともに、異なる土壌タイプにおける節水栽培法の適用性を検討した。最後に、小流域において網羅的に土壌水分の動態をモニタし、その量と変動要因を解析した

本研究で得られた結果の概要はつぎの通りである。

第 1 章 日本の篤農技術の東北タイにおける適用性

東北タイの乾季において、プラスチックマルチ施用節水栽培（マルチ区）、同無施用節水栽培（無マルチ区）および週 3 回灌水（対照区）によるトマト栽培試験を実施し、以下の結果を得た。

(1) 開花期の根系は、無マルチ区が土中深く伸長していたのに対し、マルチ区および対照区は地表付近に根群を形成しており、とくにマルチ区は根域が水平方向に広がった。根系の違いは、水分分布に一致していた。すなわち、土壌水分は、無マルチ区では下層土が、対照区では灌水された地表付近が、マルチ区では水蒸気の凝結によりマルチ下全域で高かった。

(2) 生育量はマルチ区、対照区、無マルチ区の順に大きく、マルチ区の最大収量は、現地の慣行栽培平均収量に近かった。枯死も見られたが、水分不足が直接の原因と見られるものはなく、生育差は養分不足等の要因によると見られた。

(3) 節水栽培区の総灌水量（個体あたり 750mL）に対し、土壌水分量は遙かに大きく、上記（1）の結果と合わせて、節水栽培は土壌水分により成立していることが推察された。

第 2 章 農民参加型技術開発手法による節水野菜栽培法の開発

プラスチックマルチ、ポリタンク、ドリップかんがいテープ、プラグ苗、液

肥，1作5回の液肥灌水管理で構成した，トマトの節水栽培法を農民に提示し，農民が代替資材の利用，管理法の改善等を行って実用的節水栽培法を開発する取り組みを通じ，以下の結果を得た．

(1) プラスチックマルチを使用せず，稲わらマルチにより，総灌水量 10mm 程度で現地平均収量を達成した．

(2) 栽培開始前の大量灌水により生育が斉一化したこと，栽培に失敗した圃場は砂質土壌層が薄く土壌水分の総量が少なかったこと，トマト以外にチリトウガラシ栽培も可能であったことなどから，開発技術が土壌水分の利用により成立していることがほぼ明らかになった．

(3) 以上の結果を踏まえ，試験参画農家は評価集会において，ローカル資材で節水栽培が可能と結論した．

第3章 土壌水分シミュレーションによる節水野菜栽培技術の適用性評価

節水栽培圃場の土壌水分動態をシミュレーションソフト上で再現して水分収支を解析するとともに，他の土壌タイプにおける節水栽培法の適用性を検討して以下の結果を得た．

(1) 東北タイの砂質土壌では，雨季に蓄えられた土壌水分の多くが，土壌表面の乾燥に伴って形成される乾砂層による蒸発抑制効果により，乾季中も保持された．

(2) シミュレーションは節水栽培における実測の土壌水分の傾向を十分に再現できた．

(3) 東北タイの代表的土壌タイプの水分供給量は，技術開発地の Nam Phong に比し Roi-Et, Phimai は大きく，Ubon はほぼ同等であり，節水栽培技術が広く適用できる可能性が示された．

第4章 東北タイ砂質土壌地域における乾季の土壌水分動態

2005年から2006年にかけての乾季に，東北タイ，コンケン県内の近接する2つの小流域において地下1mまでの土壌水分動態をモニタし，以下の結果を得た．

(1) 両小流域の平均土壌水分の見かけ上の減少量 23mm は，この期間の蒸発ポテンシャル 324mm より大幅に小さかった．

(2) 12月初旬の土壌水分量に対する地形の影響は，谷線・横断方向とも有意でなかったが，植生別には有意な差があり，森林 25，休閑畑（雑草）79，キャッサバ 96，サトウキビ 131，休閑田（雑草）147，水稻後（ほぼ無植生）163mm であった．

(3) 利用可能水分量は 12月初旬の水稻後で 141mm あり，トウモロコシ 1.4，一般作物で $0.7\sim 0.3\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ の乾物生産が可能な量に相当した．

以上を要するに、東北タイ砂質土壌地域において、ほぼ無灌水の野菜栽培法を開発し、それが土壌水分を利用したもので、同地域に広く適用できることを明らかにした。この栽培法は特別な資材も長時間の灌水労力も必要とせず、東北タイの農民が広く実施できる。