

機関番号：82104

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20380142

研究課題名 (和文) 乾期における土壌中の水蒸気態水分を利用した高度水利用作物栽培法の開発

研究課題名 (英文) Development of cultural practices to use vapor-phase water in soil advance in dry season

研究代表者

小沢 聖 (OZAWA KIYOSHI)

独立行政法人国際農林水産業研究センター・熱帯・島嶼研究拠点・島嶼生産環境プロジェクトリーダー

研究者番号：40360391

研究成果の概要 (和文)：東北タイの落水水田では地下水位が日変化をする。本研究の目的は、この原因を解明するとともに、この地下水を有効に利用する栽培システムを開発することである。東北タイの落水水田の土壌水の同位体比 ($\delta^{18}\text{O}/\delta^{16}\text{O}$) は、深さ 50cm で 0 時と 12 時に低下し、深さ 70cm では逆に 0 時と 12 時に増加する日変化を示した。この結果は、水蒸気態で深さ 30-50cm の土壌水分が 0 時と 12 時ころ増えることを示唆する。作物根を深く伸ばすことで 12 時ころ上昇する土壌水を有効に利用でき、この方法として、溝栽培、穴栽培が有効なことを、石垣、東北タイの圃場実験で証明した。落水水田に存在する地下水は周辺の地下水とは独立しており、雨期に凹地に蓄積されたローカルな資源であった。したがって、その場の落水水田で有効に利用することが望ましい。深さ 50cm を対象に、水フラックスを計算したが、水蒸気態による移動は極めてわずかと推察され、水移動の原因、フラックスの解析法等を再検討する必要がある。

研究成果の概要 (英文)：Water table levels under paddy fields after water gone out in the North-east Thailand have daily variation which increases around noon. The aim of this study is to analyze the cause of this variation and develop cultural practices to utilize the variation effectively for crop production. Isotope ratio of soil water ($\delta^{18}\text{O}/\delta^{16}\text{O}$) decreased around 0:00 and 12:00 in 50 cm depth, and increased around 0:00 and 12:00 in 70 cm depth. The result suggests that water in 30-50 cm depth increase due to vapor phase movement around 12:00. To promote roots deeper can support crop to absorb the lift up water. Furrow bottom cultivation and hole bottom cultivation which crops are planted deeper are succeed to excellent yields and growths in Ishigaki and the North-east Thailand. Water in the water tables are independent on other ground water; the infiltrated rainfall in small basins established in the water tables. It means water table water is local resource and limited. Water flux was estimated from soil water, soil temperature and soil characteristics. However, it resulted that vapor phase movement is too small to effect crop growth. We have to analyze a mechanism of water lifting and/or water flux calculation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2009年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2010年度	3,200,000	960,000	4,160,000
年度			
年度			
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：作物、水蒸気、地温、同位体比、東北タイ、土壌水分移動、溝底栽培、有効利用

1. 研究開始当初の背景

(1) 水蒸気態移動では、根圏地温が地表面温度より遅れて日変化するため、根圏土壌水分は日中に向けて上昇する特徴がある。この現象は古くから知られており、モデルが開発され、動態解析が進められてきた。しかし、現地測定の実例は僅かで、作物生産への影響評価、作物生産を高めるための制御例の報告はみあたらない。

(2) 地表面地温の日較差が 40°C 以上になる夏の新疆ウイグルと乾期の東北タイで、水蒸気態移動により深さ 30-50cm 付近で正午ころ土壌水分が最も上昇し、地下水から土壌への水移動が 5mm/day に達することを明らかにした。この移動を水蒸気態によると仮定すると、解釈しやすい。

(3) 水蒸気態移動では、作物の蒸散能が高まる時刻帯に、土壌水分を必要とする耕土層直下に水を集めるので、この利用促進により、高度に水利用効率を高める持続的作物栽培が可能になると期待できる。

2. 研究の目的

(1) 高温、土壌水分不足の条件で作物生産を促進する栽培方法として開発した「溝底栽培法」と「ペットボトル法」における水蒸気態移動の寄与を実測し、モデルで水蒸気態移動を解析し、水を持続的地域水資源として評価する。

3. 研究の方法

(1) 東北タイのコンケンで落水水田に深さ 2m の観測井を掘り、水位計で Water table 水位の経時変化を測定した。また、深さ 50、70cm の土壌水をポーラスカップでサンプルし、水の同位体比 ($\delta^{18}\text{O}/\delta^{16}\text{O}$) を測定した。

(2) 石垣島の温室内で以下の土壌表面処理を施しトマト栽培し、処理が茎の水の同位体比 ($\delta^{18}\text{O}/\delta^{16}\text{O}$) と収量への影響を解析した。処理は、①対照 (Cont) 区：平床。②ボトル (B) 区：水を入れた 500cc の PET ボトルを平床に定植した作物体に接して置いた。③マルチ (WPM) 区：平床に白プラスチックマルチを被覆して定植。④溝底 (F) 区：深さ 10cm の溝底に定植。⑤穴底 (H) 区：直径 7cm、深さ 10cm の穴底に定植。⑥溝底ボトル (FB) 区：溝底とボトルの併用、である。

(3) 東北タイの落水水田で 2009 年 12 月 2 日から 2010 年 3 月 24 日まで、①深さ 10cm の溝底、②平床、③高さ 10cm 畝で、サツマイモを栽培した。3 月 24 日 9:30 と 15:30 に、作物体をサンプルし、凍結後、日本に持ち帰り、茎葉乾物重、茎葉水の同位体比 ($\delta^{18}\text{O}/\delta^{16}\text{O}$) を測定した。

(4) 石垣のライシメータで 2009 年 3 月 22 日から 23 日にかけて 12 時間ごとに、深さ 20、30、50、70cm の土壌水をポーラスカップでサンプルした。2010 年 2 月 14 日に東北タイのコンケンの落水水田で深さ 20、30、40、50cm の土壌水を 3 時間ごとにポーラスカップでサンプルした。これらサンプルの同位体比 ($\delta^{18}\text{O}/\delta^{16}\text{O}$) を測定し、比較した。

(5) 東北タイの落水水田の土壌溶液を 2010 年 11 月 24 日に 3 時間ごとに深さ 20、30、40、50、70cm からポーラスカップでサンプルし、硝酸態窒素濃度を測定し、その経時変化を解析した。

(6) 東北タイで、地下水の流動機構や起源を解析するため、降水、水田から 4km 離れた集落の深さ 20m の井戸の地下水、水田畦の深さ 2m の観測井戸の地下水を、2009 年 10 月から 1 年間、毎週水をサンプルし、同位体比 ($\delta^{18}\text{O}/\delta^{16}\text{O}$) を測定した。

(7) 水蒸気態移動を検証するため、東北タイの水田の深さ 1、10、20、30、50、70、100 cm に TDR 土壌水分計と熱電対を埋設し、土壌水分と地温を測定した。土壌の水移動特性、熱移動特性等を求め、次式から深さ 50cm を通過する水蒸気フラックス q_v (cm/s) を推定した。解析期間は、2009 年 11 月 1 日から同年 11 月 30 日とした

$$q_v = -\alpha \tau_w^{-1} D_w h_r \eta \frac{\partial \rho_{vsat}}{\partial T} \frac{\Delta T}{\Delta z} - \alpha \tau_w^{-1} D_{va} h_r \frac{\rho_{vsat}}{R_v T} \frac{\Delta \psi_w}{\Delta z}$$

4. 研究成果

(1) 東北タイの落水水田の Water table の水位は日中に低下する日変化を示した (図 1)。土壌水の同位体比は、深さ 50cm で 0 時と 12 時に低下し、深さ 70cm では逆に日変化した (図 2)。落水水田で Water table の水位が 12 時ころに低下するのは、毛管水が浸潤する深さ 70cm 付近から水が水蒸気で深

さ 50cm 以浅に移動するためと推測された。これらの水を有効利用するためには、根を深く発達させる必要がある。そのためには、溝底栽培、穴栽培が適すると考えられた。

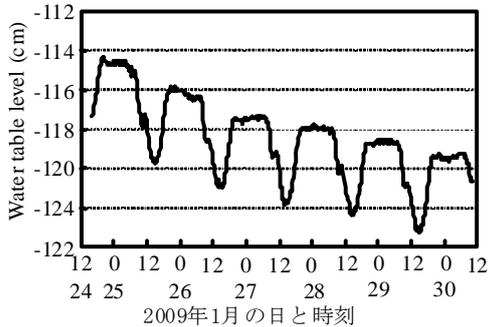


図1 東北タイのコンケンの落水水田の水位変化

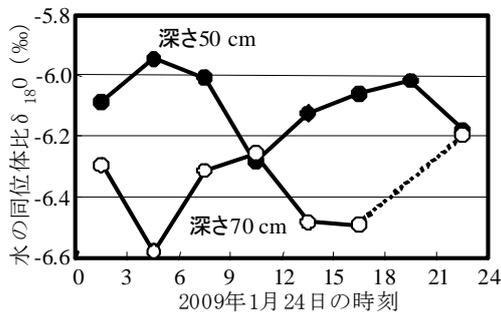


図2 東北タイのコンケンの落水水田における深さの異なる土壌水の同位体比の変化

(2) 石垣では、土壌水は蒸発で分画し、同位体比は地表に近いほど高まった。トマトの茎の水の同位体比は、マルチ区、溝底区、穴区、溝底ボトル区で、対照区、ボトル区より低く、収量は溝底区で最も高く、穴区で次いで高かった。(図3、図4)。

図3の結果は、定植位置を深めた溝底区、穴底区、溝底ボトル区で深い位置から水を多く吸収したことを示す。これが溝底区、穴底区で収量が高まった原因のひとつといえる。乾燥地帯の降水が極めて少ない乾期には溝底栽培が、降水が溝に溜まって被害を及ぼす危険がある場合は、穴栽培が適するといえる。

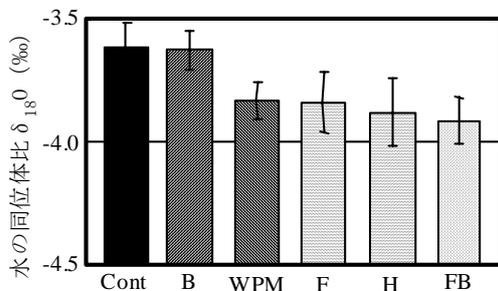


図3 異なる土壌表面処理を施したトマトの茎の水の同位体比

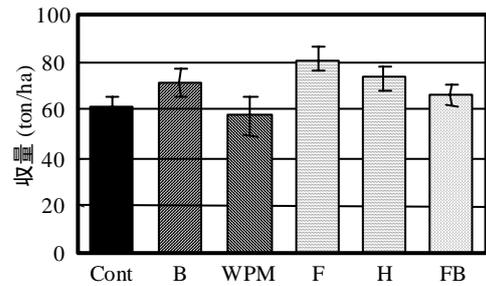


図4 トマトの収量に及ぼす土壌表面処理の影響

平床であるマルチ区で同位体比が低下したのは、マルチが水蒸気を集めた結果と推測される。溝底ボトル区で収量が高まらなかった理由は分らなかった。

(3) 東北タイでのサツマイモは、石垣でのトマトと同様に、茎葉重は溝底栽培で多くかった。平床と畝では差がなかった(図5)。サツマイモ茎葉水の同位体比は、9:30には処理間の差はみられなかったが、溝底栽培で高い傾向にあった。15:30には溝底栽培で畝栽培より低く、平床栽培では両処理の中間的な値を示した。9:30と15:30との差は溝底栽培でほとんどなく、畝栽培では15:30に9:30より2%ほど上昇した。この上昇は、平床栽培では畝栽培より小さかった(図6)。

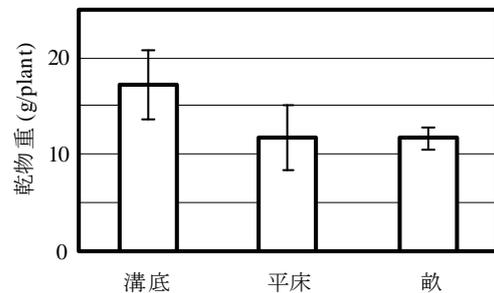


図5 サツマイモの乾物重

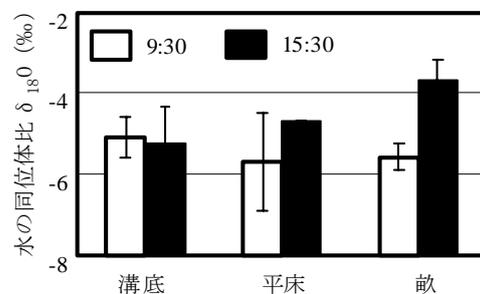


図6 異なる土壌表面処理を施したサツマイモ地上部の午前と午後の水の同位体比

これらは、生育が促進された溝底栽培では、他の処理に比べて作物は午前に重い水を吸収する傾向にあり、午後に軽い水を吸収したことを示す。

(4) 石垣では深い位置からサンプルした土壌水ほど同位体比が低かった(図7)。しかし、東北タイの土壌水の同位体比は、深さ30cmで最も低く、深さ40cmで高く推移した。また、深さ20cmでは3-6時と12-15時に低下する日変化を示した(図8)。

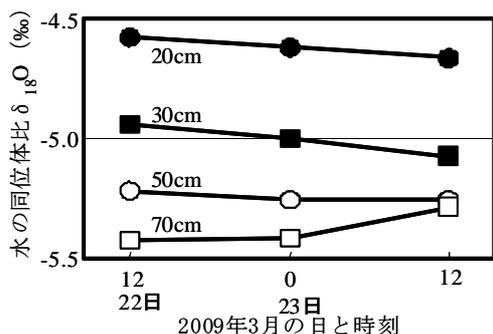


図7 石垣における深さの異なる土壌水の同位体比の経時変化

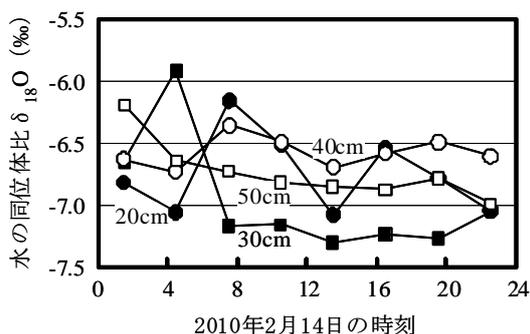


図8 東北タイにおける深さの異なる土壌水の同位体比の経時変化

この結果は、石垣では蒸発が土壌水の同位体比の垂直分布を決定付けるものの、東北タイでは蒸発以外の要因が関与しているといえた。この要因として、水蒸気態の移動が考えられる。また、本観測期間では深さ30cmが水蒸気態移動の水が集まる深さと考えられた。

(5) 土壌溶液中の硝酸態窒素濃度は、30cm>20cm>40cm>50cm>70cmの順で高かった。深さ30cm、40cm、50cmで日変化がみられ、30cmでは9-15時に高く、40cmでは15-18時に低く、50cmでは15-18時に高かった(図9)。

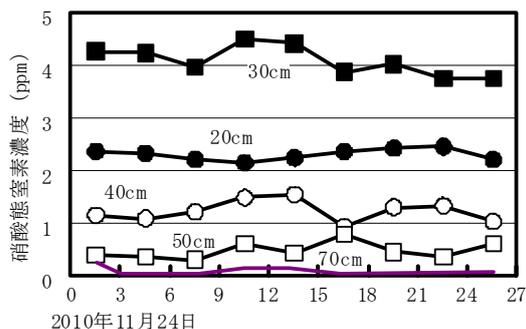


図9 東北タイの落水水田の異なる深さの土壌溶液の硝酸態窒素濃度の経時変化

この結果は、溶質を伴わない水が、9-15時に深さ30cmから20cmに移動し、15-18時に深さ50cmから40cmに移動したことを示唆する。

(6) 降水の同位体比は-15~5‰の間で変動しており、4月までの乾期で高く、5月以降の雨期で低かった(図10)。深さ20mの集落地下水は-6.5~7.0‰で一定であった。水田地下水は2010年7月に同位体比の低い池の水を灌漑したため、その浸透で急激に低下した(図11)。

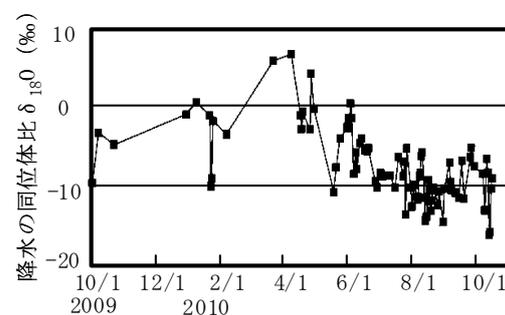


図10 東北タイにおける降水の同位体比の経時変化

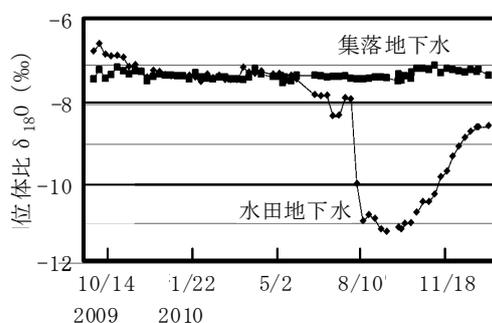


図11 東北タイにおける集落地下水(深さ20m)と水田地下水の同位体比の経時変化

この結果は、落水水田に存在する water table の水は周辺の地下水とは独立しており、雨期に凹地に浸透した水資源で、ふんだんに存在するものではない。したがって、その場の落水水田で有効に利用することが望ましいといえる。

(7) 水分移動特性と観測値を用いて推定した深さ 50cm における水フラックスを図 12 に示す。温度勾配の方向の変化に応じ、日変化している様子がわかる。30 日間の液状水フラックスの積算値は、液状水が 0.94cm であったのに対し、水蒸気はわずか 0.003cm であった。したがって、水蒸気による移動は、作物の水消費への寄与を期待するほどの量ではないといえる。

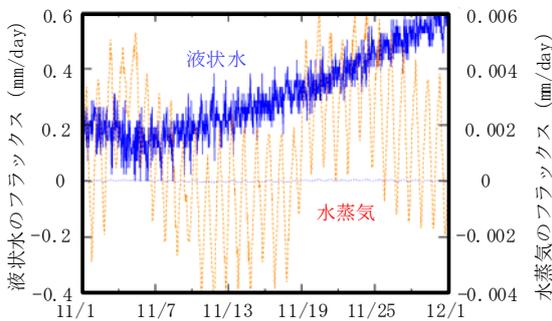


図12 深さ50cmで推定される水フラックスの経時変化

このフラックス解析の結果から、東北タイの落水水田で正午ころ増加する土壤水分移動の原因を水蒸気態移動でなく浸透に求めるべきことがうかがえた。今後、収集したデータを活用して、浸透によるこの水移動のメカニズムを解明する必要がある。一方、本フラックス解析は、深さ 50cm を対象とした。この深さがフラックス解析に適切であったかの検討も必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計3件)

- ① 佐藤 透、小沢 聖、登尾浩助、桑形恒男、藤巻晴行、一柳錦平、嶋田純、湿潤地域と熱帯地域における、水の安定同位体比を用いた吸水深度の推定の検討、日本農業気象学会 2011 年全国大会、2011 年 3 月 18 日、鹿児島大学。
- ② 小沢 聖、桑形恒男、一柳錦平、藤巻晴行、登尾浩助、後藤慎吉、土壤中の水蒸気態水分を利用した作物栽培技術の開発、農業環境工学関連学会 2009 年合同大会、平成 2009 年 9 月 17 日、東京大学駒場キャンパス。

- ③ 小沢 聖、桑形恒男、後藤慎吉、登尾浩助、一柳錦平、藤巻晴行、地温差による土壤水分移動、日本農業気象学会 2009 年全国大会、2009 年 3 月 26 日、郡山市。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小沢 聖 (OZAWA KIYOSHI)

独立行政法人国際農林水産業研究センター・熱帯・島嶼研究拠点・島嶼生産環境プロジェクトリーダー

研究者番号：4 0 3 6 0 3 9 1

(2) 研究分担者

桑形 恒男 (KUWAGATA TSUNEO)

独立行政法人農業環境技術研究所・大気環境研究領域・主任研究員

研究者番号：9 0 1 9 5 6 0 2

藤巻 晴行 (FUJIMAKI HARUYUKI)

鳥取大学・乾燥地研究センター・緑化保全部門・准教授

研究者番号：9 0 3 2 3 2 5 3

一柳 錦平 (ICHIYANAGI KIMPEI)

熊本大学大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号：5 0 3 7 1 7 3 7

登尾 浩助 (NOBORIO KOUSUKE)

明治大学農学部・教授

研究者番号：6 0 3 1 1 5 4 4

(3) 連携研究者

後藤 慎吉 (GOTO SHINKICHI)

独立行政法人国際農林水産業研究センター・熱帯・島嶼研究拠点・島嶼生産環境プロジェクト・主任研究員

研究者番号：0 0 3 5 4 0 4 3

徐 健青 (JYO KENSEI)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境フロンティア研究センター・研究員

研究者番号：5 0 3 4 4 3 0 4