

東南アジアの水田土壌における窒素 固定性微生物

小 林 達 治

1 ま え が き

東南アジアにおける水稻栽培は日本のように大量の化学肥料が施肥されることはなく大部分は多年にわたって無肥料栽培に近い状態でおこなわれてきている。したがって水田土壌中の微生物分布も日本の水田土壌のそれとはかなり異なっていることが想像される。これらの微生物部門での研究は最近フィリッピン¹⁾の International Rice Research Institute (IRRI) において開始されたばかりでタイ、マレーシアその他熱帯地方での研究はほとんどない。

なぜ水田化することにより畑土壌と異なって収量がほぼ一定となり減少しないのであろうか。このような疑問は農業にたずさわる誰もがもつことであろう。水田土壌には畑土壌と異なって太陽光線のエネルギーを利用して窒素固定をしようする“ラン藻”や“光合成細菌”が多数存在しその他の窒素固定有機栄養細菌などとの共存のもとに大気中の窒素ガスを固定し植物体が利用しようする形態に変えて常に水稻に供給しているからにはかならない。温度、太陽光線とも非常に恵まれた環境にある熱帯地方でのそれら窒素固定菌について研究することは、今後化学肥料を施肥するようになる場合でも極めて重要なことである。(施肥する場合には脱窒というような問題がおこるので無肥料、肥料施肥いずれにしても土壌微生物の分布をすることは重要なことである。) そこで8月の夏休み期間を利用して1ヶ月にわたりそれら微生物の予備調査ならびに土壌採取を目的としてタイ国を中心としその他マレーシア、フィリッピン、台北市郊外へと出かけて行った。その調査の結果にかんする研究論文は別に専門雑誌に発表する予定である。

2 タイ国での調査

すでにタイ国で一年有余研究生活を続けている当植

物栄養学研究室の大学院生福井捷朗君の活躍により私の研究ならびに土壌採取は予想以上に楽に進めることができた。

まず土壌採取後ただちに菌数測定をおこなわなければその土地におけるその時期での真の微生物活性を知ることとはできないのでわずか1ヶ月という短期間ではあったが一つの土壌試料については現地採取直後の微生物菌数をその場で測定することにした。そして日本へ持ち帰ってから測定した場合との菌数比をもって他の試料についての係数とし実地での各種微生物の活躍程度を知ろうという計画をたてた。それを実行するためには、タイ国内でその実験をする施設のある場所をさがす必要があった。幸いなことに福井君は日本政府の賠償金を基金として設立された“Virus Research Institute”の諸施設を借用できるよう Dr. Prakorb Tuchinda (研究所所長) 伊藤利根太郎理事長 (日本側指導者代表兼大阪大学微生物研究所助教授) と交渉に成功しタイ国滞在中そこで実験することができるようになったのは大変ありがたいことであった。

ラン藻や光合成細菌などを確認するためには最少3週間は必要とするのでバンコック到着翌日より実験準備にとりかかった。福井君の案内でカセツアート大学横の試験場附属の水田土壌(1毛作、湛水状態にしてから約3週間後のもの)を使用することにしその土壌を採取することにした。

次に、Photoautotrophs の培養装置を組立て、その翌日から培養することができるようになった。調査した土壌微生物の種類ならびに菌数は表1に示す通りである。Nitrogen Fixing Photoautotrophs の一例として Blue Green Algae の顕微鏡写真(写真1)と Photosynthetic Bacteria の一種 Rhodospirillum rubrum の電子顕微鏡写真(写真2)を示しておく。

表1に示す微生物を調査すべく培養液の作成ならびにそれらの培養を開始した後8月中旬よりタイの東北

表 1 調査した土壌微生物ならびに菌数
(タイ国バンケン 1 毛作水田)

	菌数/g 土壌
A) Nitrogen Fixing Photoautotrophs	
i) Blue Green Algae	10^4
ii) Photosynthetic Bacteria	
a) Thiorhodaceae	0
b) Athiorhodaceae	10^4
B) Non-Nitrogen Fixing Photoautotrophs	
i) Chlorella	10^5
C) Heterotrophic Nitrogen Fixing Bacteria	
i) Aerobes	10^5
ii) Anderobes	10^5
D) Nitrobacteraceae	
i) Nitrosomonas	10^3
E) Protein Decomposing Bacteria	10^5



写真 1 窒素固定ラン藻の顕微鏡写真×600

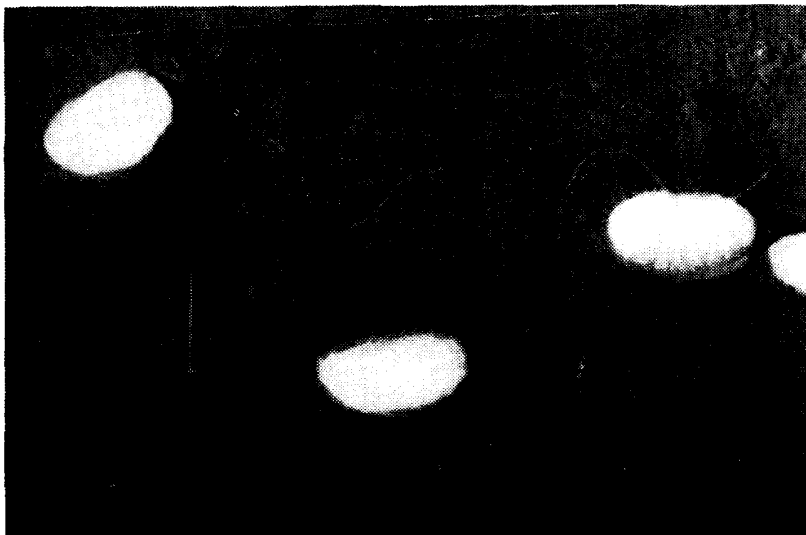


写真 2 窒素固定光合成細菌の電子顕微鏡写真×9000

部へ土壌微生物の調査ならびに土微採取への旅に出かけた。

土壌試料を採取した地点はタイ国内では 6 点である。バンケンの 1 毛作水田と 2 毛作水田ならびにランシットにある農事試験場附属の水田土壌は前もって別の日に調査ならびに採取をすませておいた。まづロプブリへ出かけその水田土壌調査ならびに採取後サラブリまでもどりその後一気にウドンまで 600Km 以上の距離を一日のうちに走破しようという計画をたてた。

ウドンでは FAO 派遣技師高橋治助博士一行が近くの農民に化学肥料を供与して現在おこなっているという Demonstration Farm を案内してもらった。ウドン近くでは人工的な灌漑ができず雨期にしか水稻の植え付けができない。われわれが調査に行った時も雨がまだまだ不足で水田化できず耕起したままで放ってある所がかなりたくさん見うけられた。タイ国の東北部は現在このように雨まかせて米作りをおこなっている関係上、収量が年毎にまちまちのようである。メコン河に現在多数作られつつあるダム工事が一日も早く完成されんことを切望する。

高橋博士によると Demonstration Farm とはアメリカ政府の援助により供与された化学肥料をその土地土地の土性を簡単にしらべたうえどのような種類の肥料を与えるのが最も適当かつ経済的であるかを判定し、各農家にそれらの肥料を実際に施肥させ増収した分については今までの価格と同じでタイ国政府が買収しようというもので農家に対してはこのうえない福音であるという説明であった。ところが化学肥料は無償であるにもかかわらず農家が実際に施肥

して収量調査をするというだんになるといろいろな問題がでてきているようであった。その若干の例を述べると i) 農民ははじめてきれいな結晶の化学肥料をみるために指導されたように施肥せず、例えば 1 ケ所にかためたりしてその箇所は肥料成分濃度濃厚なるために枯れてしまいその他の部分へは滲透してゆかず生育は極めて貧弱という結果がえられて化学肥料効果なしと農民はきめてしまうようになったりする。ii) 水牛が想像以上に農耕に活躍しており、収量調査をするよう設定した水田に突然入りこみ水稻の上に横倒しに坐りこんだりしてせっかくの調査計画をぶちこわすというような事故続出。iii) 同じような事故が土着のカニによる害にもみられた(写真 3 参照)。水田には多数のカニが繁殖しており大きく成長した水稻を株の所で切ってしまうのである。そのような事故があってもなかには熱心な農民も出てきて指導どりの施肥をおこない実際 3~4 倍の増収を収めるという現実をみせつけられ不熱心な農民も徐々にいわれた通りにするという気運



写真 3 ウドン近くの Demonstration Farm にて。人物は高橋治助博士。右手前水稻のはえていない所はカニによって切断された所。畝を歩いているとカニによく出くわす。

がでてきているようで、このような Demonstration Farm のゆきかたはいろいろな事故はたとえあったとしても必ず成功するであろうと期待されている。具体的な数字はぬきにして化学肥料(窒素、リン酸、加里の三要素)を施用して増収してもはたして経済的にひきあうであろうかという問に対して、高橋博士は灌漑水さえうまく使用できるようになればタイ国の不毛の土地または低収量の土地においても高収量(現在の 3~4 倍に増収できる見通しとのこと)をえて採算は十分あうとのことであった。この一言はわれわれ肥料関係にたずさわるものにとって非常に力強く感じられた。

タイ国東北部の水田をみて感じたことは乾期がかなりきびしいために湛水状態で生育し窒素固定しうる微生物はそのような乾期の間に死滅し、かなりそれらの雨期における優勢な生育がおさえられているのではないかということであった。またリン酸がかなり欠乏している土壤なのでそれら窒素固定微生物もたとえ太陽光線が豊富にあったとしてもあまり生育してこないのではないかと思われた。やはりメコン河を開発して一刻も早く上流よりの栄養物にとむ灌漑水をほどくことこそ増産への早みちであることは誰もが異論をもたぬところであろう。

3 マレーシアにおける調査

i) タンジョンカランの水田とジャランケブンの泥炭地

本学農学部で川口教授がクアラルンプールにある農林省農事試験場の Dr. Ng Siew Kee と土壤調査に必要なジープ借用その他についての連絡をいっさいやっていたのでここでも非常に楽に調査旅行をすませることができた。クアラルンプールにはわずか 4 日間しか滞在予定がなかったのでクアラルンプールから南西にあるジャングルを開発したという泥炭地にあるジャランケブンの試験場とクアラルンプールから北西部にあるタンジョンカランの水田を調査することになった。

マレー半島はタイ国とことなり年中雨量が割合にあり乾期とはっきり区別できる時期はなく、したがって泥炭地ではむしろ排水が必要となり試験場内圃場はみごとな排水溝が縦横にできあがっていた。何百年間も蓄積したであろうジャングルの樹木の落葉などでできた有機物に富む土壌であるだけに排水溝の水は赤茶

色、ちょうど紅茶を抽出した時のような色でpH値3.5前後という低さのものであった。Dr. Ng Siew Keeの研究によると加里肥料を供給するだけでパパイヤ、オイルパーム、コーヒーの樹は実によくできるとのこと。しかし椰子の生育にはあまりよくなくバナナは完全に駄目とのことであった。パパイヤ、オイルパーム、コーヒーの生育は誰がみても非常によく、まだまだこのような土地のあるマレーが日本人としてはうらやましく感じられたほどである。しかし年年そのような農作物の栽培によりまた土壌微生物による分解などのために地盤沈下は年平均数cmにもおよぶそうのでこれまでに蓄積した天然有機物肥料も今後何十年位ほとんど無肥料のままで続けることができるであろうか。話しは変わるが香港よりバンコックへ到着するまでに飛行機からみたあの東支那半島の大ジャングルは山岳地帯をおおい、そこに端を発した河川は途中の土砂とともに有機物を多量に含みながら流れ、最後に河口より海洋へと流れでるさまは、その茶褐色のためかなりの速海まではっきりと認められ、その壮観さに驚くとともにまだまだこの水の開発と農業面への利用をせねばならぬと考えたしだいである。また同時にこのような大地の条件に恵まれたマレーその他の東南アジアの原地民の大部分がなぜ貧しいのであろうかと考えこむのであった。

翌日クアラルンプールからタンジョンカランの水田



写真4 マレー、タンジョンカランの水稲。上流にはジャングルがあるという河川から灌漑水をえている水田であるため20数年間無肥料というのに水稲の生育は極めてよい。

土壌調査ならびに土壌採取にでかけた。前日同様にゴムの栽園を一気に突走ること約2時間半、この水稲はタイ国東北部にくらべて格段と生育がよく、約20年間無肥料のままで栽培しているにもかかわらずまったく収量は低下しないということであった(写真4参照)。これは上流のジャングルに端を発する河川から灌漑水をとっており非常に有機物にとんでいるとともに窒素固定微生物も多数存在していることが想像され、このような理由が高収量の維持ということに結びつくようで今後の研究が楽しみである。

ii) ブキメタジヤム近辺の水田

クアラルンプール近くの調査を終り空路ペナン島へ飛ぶ。途中機内から錫の採鉱跡や自然にできた河川の造形美など見おろしたマレー半島の一望見渡すかぎりの水田地帯のみごとに整備された耕地区画などに驚いたりもした。

ペナン空港にはコロポ計画派遣の川上技師が出迎えてくださり、これまた非常に助かった。ここでの水田地帯の調査はわずか2日間というので非常に忙しいスケジュールになった。ブキメタジヤムの試験場に到着したのは正午少し前でその午後さっそくに試験場から北西の方面にあたるバタワスの水田地帯へでかけた。ジープで約40分の距離。その地帯4点の土壌を調査、採取するのみで半日は終わってしまった。翌、早朝今度は反対にその試験場から南方方面にあたるプロビンス・

ウイレスレイの水田調査にでかけ7地点の調査採取をすませることができた。途中過去何百年かわからぬ昔から連続水稲栽培をしているという水田にプニヤキメラ (Penyakit Merah) という病気がでて困っていると聞いた。写真5に示すようにその病気にかかると葉は赤く枯れてきて以後生長はとまってしまうとのことである。そのような現象にわれわれ土壌微生物研究者は非常に興味をおぼえ、その土壌調査ならびにその結果に期待をかけているしだいである。

この病気に対してはいろいろ説があるようである。i) 微量要素説。

ii) ネマトーダ説。iii) ウイルス説など。しかし最近ではフィリピン

IRRI で研究中の台湾出身の Dr. S. H. Ou のとなえるウイルス説が最も有望だとのことであった。写真5に示すように感染実験においても実証に成功している。その後 IRRI へ行った時直接 Dr. S. H. Ou と Dr. K. C. Ling に会ってかようなウイルス病についての実験ならびにその結果などについて教わることができたのは非常に有益なことであった。ところでこの病気に対して私個人として若干意見を持った。すなわち、そのような病気の出る水田土壌を外見よりみた場合次のような点に気がついた。水田表層に酸化鉄の被膜が肉眼的にみてギラギラ光るようになっている(写真5-3 参照)。そのような病気の出る所はすでに水田化してから数百年を経過しているということ。そしてそのすぐ横にある比較的最近になってジャングルを切開いたという水田では収穫量もよく、病気に容易に感染しないという事実。病気のおこる水田は常識的な言葉でいうならば一種の老朽化水田といえるかもしれない。したがって直接の原因はウイルスだとしても他の要因とも関連していることはまちがいのない事実であり、その土壌を手にとって臭いをかいでみると、腐敗臭がただよっており酸化鉄の被膜とともに水面には Photoautotrophic non-nitrogen fixer である緑藻が水面に膜状に生育していたという事実からその土壌には窒素が十分にあるということが想像され、そのような状態を考慮に入れるならばタン白質分解菌が多数生存し水稲根に悪影響を及ぼす毒性産物をかなり出しているのではないだろうかということが考えられた。したがって根の環境条件が極めて悪くなるために水稲の健康状態も悪くなり、そのような条件ではウイルスにも侵されやすくなるということではなかろうか。もし

そうだとするならば環境要因を変えるという立場から土壌微生物学的にもその病気を克服できるなんらかの方法があるはずである。いずれにせよこの問題は現在研究中であるので遠からず解答が出るものとひそかに期待している。

バタワス、プロビンス・ウイルスレイでの2日間の

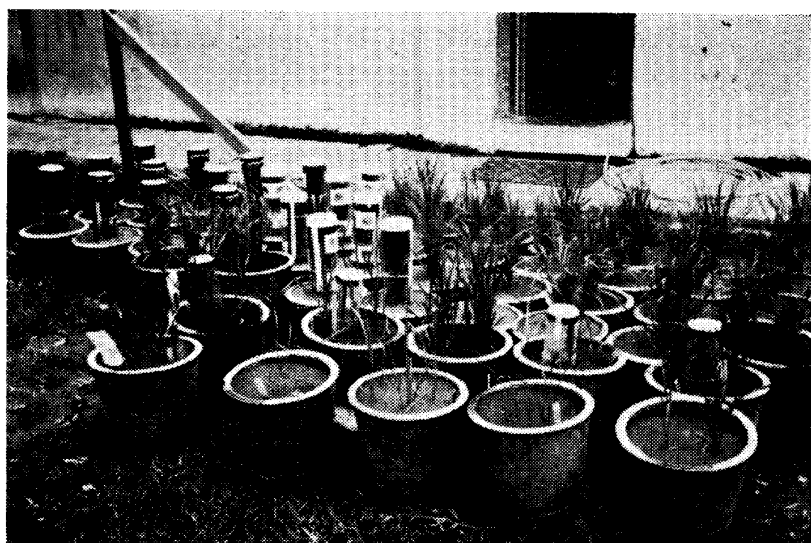


写真 5-1 プニヤキメラの感染実験とその発生する水田土壌表層に浮ぶ酸化鉄の被膜。ポリエチレン製の筒の中にはウイルスを媒介するというウंगाが水稲とともに入れてある。感染後とりはずす。



写真 5-2 感染した水稲は枯れてしまうか、生育が止まってしまうことを示している。前列ポットには2株の水稲がうえてあったが各ポットの左側の株は感染して枯れてしまっている。かろうじて右端のポットのみほそそ生育を保っているのがみられるが、生長は止まっている。

調査を無事済まして再びバンコックへ帰着したのは8月21日であった。

4 IRRI（国際稲作研究所） における調査

ぶっそうきわまりないサイゴン空港を後にして、Air France Co. のジェット機からマニラ空港へおりた時には京都大学農学部の高村泰雄氏と IRRI の土壌微生物研究室を担当する Dr. Ian C. MacRae とが空港まで出迎えに来てくれていた。

IRRI では Dr. Mac Rae がきりつまったスケジュールをつくってくれたので能率よく仕事、土壌調査などは進んだものの少少くたびれもした。

私の研究に関係のあるスタッフとの一時間ずつの面会、研究所内の見学、講演、土壌採取等等。しかし夜には高村氏がその研究所内で開かれた音楽リサイタルにつれて行ってくれたりして楽しい雰囲気を感じてもらったのでその疲れも忘れることができた。なお高村氏をはじめ北海道大学の田中博士ら、それに1ヶ月前、生化学研究室担当として着任されたばかりの名取博士ら日本人として現在ならびに将来への活躍をおおいに期待したい。

土壌微生物担当の Dr. Mac Rae は京大総長奥田先生がもと当植物栄養学研究室の教授であった頃訪れたことがあり文献交換などしていた間柄なのでお互いに親しみを覚えた。彼の研究室の内容を簡単に紹介すれば i) 水田土壌における窒素固定菌の消長ならびに固定窒素の水稲への可給化。すなわち γ -BHC を与えて二次的に発生した微小甲殻類の生育の規制をおこないその死滅化ならびに藻類生育の促進化の研究をおこなっており、ii) 土壌中の窒素化合物の変形 (Nitrogen Transformation) iii) 硫黄化合物の循環 iv) 湛水状態におけるガス生成、v) ポリリン酸肥料の可溶化などかなり多方面にわたる研究を活発におこなっていた。熱帯地方における水田土壌微生物の研究のほとんどない現在において彼等の研究はおおいに有意義なものとなるであろう。また私の考えている土壌微生物研究の立場とほとんどよく一致しており今後おおいに交

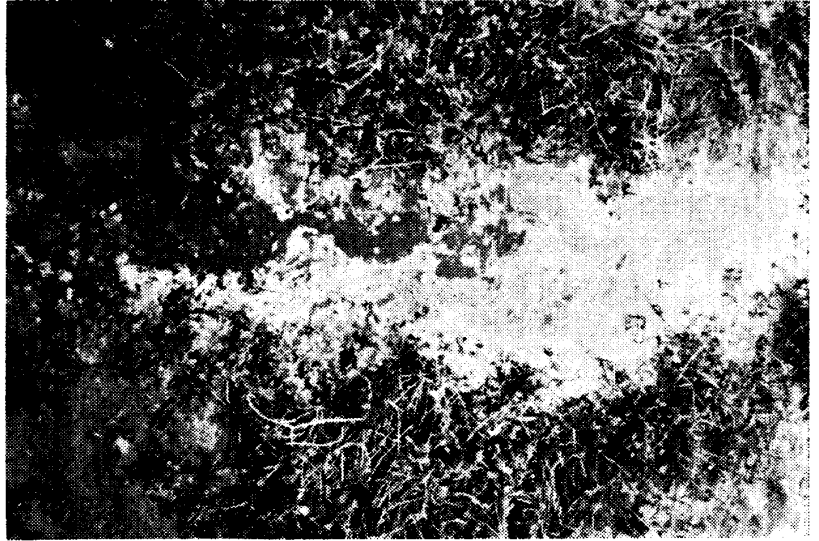


写真 5-3 プニヤキメラ病が発生する水田土壌の水面にはギラギラ光るような酸化鉄の被膜が浮き、その土壌は腐敗臭がする。水稻を植え付ける前には前作の藁は全部土壌中へ鋤込んでしまう。

流しておたがいにその面での研究の促進をはかろうと話合ってきたのである。

5 台湾大学訪問

台湾における土壌微生物の研究は今迄どのような状態にあったのかわれわれ日本においてはまったく知ることすらできない状態であった。しかし台湾には水田（写真6参照）も多いし、ぜひ行ってみようと思っていたところ IRRI で台湾大学の王西華教授が土壌微生物の研究をおこなっているということを聞いたので訪ねることになった。

台湾大学へついたのはちょうど午後一時過ぎであった。秘書にたずねてみたところ王教授は留守とのこと。これは弱ったことになったと思ってなおも間違ったところ昼休みに家へ帰っておられるだけでまた出てこられるとの返事であった。

しかし午後の4時頃まで待つわけにもゆかず思案にくれていると呼びに行きあげましようといって自転車で連絡に行ってくれたときはほっとした気持ちになった。台湾は9月初旬は再び夏の気候で暑くなり、日中は休みして午後4時すぎよりふたたび仕事をするのだとのことであった。冷房のない熱帯地方の研究室は日本の8月の研究状態を考えるだけでどれだけの苦勞があるか想像できるというものである。

王教授は面会早々まったく完全な日本語で話され少し驚いた。それもそのはずで終戦の時台北高等学校在学中でそれまではずっと日本語で読み書きをし現在でも日本農芸化学会誌など日本語の学術雑誌等書棚に並べられていた。約3年前日本農芸化学会に相当する中国農業化学会なるものを創立され発起委員としてその発展に努力しておられることに対して敬意を表したい。ここで王教授の研究内容を紹介しておく。i) 窒素固定細菌 *Azotobacter* を分離してその利用にかんする研究 ii) 土壌中より有用微生物を分離し応用微生物学の立場での研究(グルタミン酸醗酵など) iii) 古い茶園で発生している病気の原因究明にかんする研究であった。

日本語はもちろんのこと英語で論文発表することもあまり好まないという台湾政府の政策に若干反撥されせめて報文中の図とか表の説明ならびに要旨くらいは英文で書こうと努力されているなどかなりいたましい

感じをうけた。しかし初対面でありながら非常に親しくしていただき水田土壌の採取、台北市内の案内など、また帰りには飛行場まで送っていただいたのにはすっかり恐縮してしまったと同時に今後おおいに友情をもっておたがいに研究の発展に寄与すべきであると自分にいい聞かせるのであった。

6 謝 辞

この調査に際しまして終始御援助くださいました農芸化学教室植物栄養学研究室の高橋英一助教授ならびに本調査の実施を支持してくださいました東南アジア研究センター自然科学部門主任芦田譲治教授に対しまして深甚なる謝意を表します。また本調査を推薦してくださいました同研究センター農業生産班担当の川口桂三郎教授ならびに本岡武教授にあつく御礼もうしあげます。

わずか1ヶ月の調査旅行ではありましたが現地におきまして次の各位の御協力御援助がありましたゆえにきわめて順調に調査を進めることができました。この頁に御芳名をしるして感謝の意を表します。

タイ国にて	寺松孝助教授 福井捷郎氏 桂満希郎氏 伊藤利根太郎博士 緒方隆幸博士
マレーにて	川上潤一郎氏 Dr. Ng. Siew Kee
フィリピンにて	高村泰雄氏 Dr. Ian C. Mac Rae
台湾にて	王西華教授



写真6 台北市郊外のみごとに整備された水田地帯。このような水田がえんえんと続いている。