

〔調査報告〕

過剰施肥がニンニクおよびトウモロコシの生産性に及ぼす影響 —ブラジル・グアタパラ日系移住地の事例研究—

富田健太郎 (Kentaro TOMITA)

株式会社宏大 技術研究員

はじめに

前報(本誌第13号: 11-19)で述べたように、ブラジルのグアタパラ日系移住地(以下、移住地と記す)ではJATAK センター(以下、センターと記す)と移住者たちが、農業の生産性向上を目的にして、不定期ながら約40年間にわたり大量のドロマイト、溶リン、および鶏糞を施用してきた。その結果、不運なことに過剰施肥土壌が形成され、かえって過剰施肥による生産性の低迷が懸念されるようになった。

実際、筆者が2003年にサンパウロ大学(Universidade de São Paulo, 略称 USP)で、オオムギを用いてノイバウエルポット幼植物試験を行った結果、グアタパラ移住地の土壌はリンとマグネシウムが高く、作物にとっては両元素の過剰吸収がかえって作物の収量を低下させる要因であることが明らかになった。筆者はその点を移住者らに説明してから8月下旬に一時帰国した。

しかしながら、その後2003年10月から2004年3月にかけて多量の降雨があったために、何人かの移住者は、肥料養分が溶脱したと思いこんで、溶リンや各種化学肥料を再び多量に施用

したという。他方で、自分たちが過剰に施肥してきたことを理解して反省する移住者も何人かいた。それらの人々は同時期の多量の降雨にもかかわらず、ドロマイトや溶リンなどのリン酸肥料を再び施用することはなかったそうである。

いずれにせよ、ノイバウエルポットによる試験では、肥料養分の溶脱は考慮されていない。そのため、実際の農地において熱帯特有のスコールに遭遇すると、リン、カルシウム、マグネシウムなどの肥料養分は地中奥深くに溶脱されてしまい、作物にとってこれらの養分の欠乏症を引き起こすのではないかと移住者たちが不安になる気持ちも理解できる。そこで次の実験では、センターの圃場を対象としてニンニク(乾季作)とトウモロコシ(雨季作)を取り上げ、過剰施肥が生産性に与える影響を評価した。なお、ニンニクの栽培試験は、前報で記したノイバウエルポット試験と並行する形で2003年度に実施している¹。またトウモロコシの試験は、

¹ 筆者が一時帰国した2003年8月には、ニンニクの収穫は不可能であったため、ブラジルの現地スタッフと連絡を取り合いながら、一時帰国の期間(2003年9月~2004年6月)に日本で実験結果を取りまとめた。したがって、そ

2004 年 10 月の雨季の到来を待って実施した。試験では土壌の表層 10cm、断層 30cm および 50cm の部分を採取して、雨季中の各種肥料養分の動態を調査し、溶脱の程度を把握した。

1. グアタパラ市とその周辺の自然環境

まず対象地の自然環境について簡単に述べる。グアタパラ移住地の 60%は大波状形の丘地で、残り 40%はモジグアス河流域の低地から成る。標高は丘地の高い所で 560m、低地は 500m である。丘地の地質は輝緑岩と砂岩の風化土壌よりなるテラ・ロッシヤ・ミストラダである。低地は国泥土および泥炭土からなり、強酸性 (pH4) であるが、部分的には白色砂土もある。気候は年平均気温が 22.6 (最高気温 37、最低 1.5) 年平均降水量は 1691mm で、雨季は 10~3 月、乾季は 4~9 月となっている (以上の記述はグアタパラ文協 1999 による)。

2. リン酸の施用量の差が代表的なニンニク品種 (乾季作) の生産性に及ぼす効果

(1) 実験の背景と目的

移住地では、乾季作としての唯一の作物はニンニクである。ところが、この栽培には灌水が必要であり、それに応じた施設費や電気代、さらには種子球根代や人件費も高いため、安定した多収栽培法の確立が望まれている。移住者の中には、このニンニク栽培において、溶りん、骨粉など、多量のリン酸肥料を散布する傾向にあり、肥料の白い粉が圃場を覆うほど散乱している光景を筆者は目にした。この背景には、土壌のリン酸固定作用があり、施用したリン酸の作物による吸収利用率は、窒素やカリよりもずっと低く、土壌環境にもよるが、最高でも 25%、

最悪な場合は 10%に満たないケースもある (伊達・塩崎 1997: 13-14)。移住者らによると、かつて日本の農業技術者よりリン酸固定に関する概念を教わったことがあり、それ以降、溶リンを積極的に施用する習慣ができてしまったという。つまりそれは、施肥リン酸の 75~90%は土壌に固定されて作物に利用されなくなるという一つの恐怖心によって、リン酸の多量散布を行う結果となってしまったのであろう。そこで筆者は、実際に、移住地で注目されている代表的なニンニク品種を採用して、リン酸の施用量水準を変えた試験を実施し、適品種ならびに適リン酸施用量を決定する必要性を感じたのである。

(2) 実験材料および方法

2003 年 5 月 20 日にセンターの野菜試験圃場においてニンニクの播種を開始した (栽培前の供試土壌は 2003 年 4 月 30 日に採取した)。溶リン (P_2O_5 として 20%を含有)を用いて、0kg、100kg、200kg、および 400kg P_2O_5 施用区の 4 処理区を設けた。そして、各処理区ともに尿素 (40kgN/ha) および塩化カリ (80kg K_2O /ha) を溶リンと共に基肥として施用した。また 6 月 20 日に、追肥として、尿素と塩化カリをそれぞれ 40kgN および 40kg K_2O /ha 施用した。

採用ニンニク品種は、Jonas、Cacador F、Esmeralda、Chonan melhorada、および Cacador virusfree である。種子球根は栽植前に約 5 週 35 日間の低温処理を行った。試験区の配置は乱塊分割区法により、主区に磷酸施用量 4 処理区、細区に 5 品種を割り当て、一区三連とした。栽植様式は畝床幅 120cm の平畝に、株間 12cm、列間 13cm の千鳥植え 2 列抱き合わせで三連 (連間 22cm) とした。栽植密度は 35 株/ m^2 で、細区 (1 品種) 2.8 m^2 、主区 (5 品種) は 10.4 m^2 とした。灌水は、晴天時は 3~4 日毎にスプリン

れに先立つ現地赴任期間 (2003 年 3 月~8 月) にはまだ、試験結果をグアタパラ移住者には報告できていなかった。

表 1: 土壌表層 0-20cm における土壌分析の診断基準値

作物の形態別による交換性リンの診断基準値 (単位: mg/dm^3)

診断域	永年性樹種	果樹類	一年生作物	野菜類
超低	0 ~ 2	0 ~ 5	0 ~ 6	0 ~ 10
低	3 ~ 5	6 ~ 12	7 ~ 15	11 ~ 25
中	6 ~ 8	13 ~ 30	16 ~ 40	26 ~ 60
高	9 ~ 16	31 ~ 60	41 ~ 80	61 ~ 120
超高	> 16	> 60	> 80	> 120

pH (単位なし) ならびに交換性カリウム、カルシウムおよびマグネシウムの診断基準値 (単位: $\text{mmol}_\text{c}/\text{dm}^3$)

診断域	pH (0.01M CaCl_2)	交換性カリウム	交換性カルシウム	交換性マグネシウム
超低	4.3 以下	0 ~ 0.7		
低	4.4 ~ 5.0	0.8 ~ 1.5	0 ~ 3	0 ~ 4
中	5.1 ~ 5.5	1.6 ~ 3.0	4 ~ 7	5 ~ 8
高	5.6 ~ 6.0	3.1 ~ 6.0	> 7	> 8
超高	> 6.0	> 6.0		

(出所 Raji, Cantarell, Quaggio e Furlani 1997)

クラーで約 1 時間 3mm 程度実施した。除草は禾本科用の除草剤 Fusilade を $1\text{L}/\text{ha}$ 散布した。7 月下旬、隣接圃場に病害が出現したので殺菌剤 Folicur を $1\text{L}/\text{ha}$ 散布した。さらに、8 月上旬ならびに下旬に同薬剤の散布を実施した。

収穫としては 9 月 23 日に各細区より 1 品種 30 株を抜き取り、網袋に入れて収納舎で架乾し、12 月に球根重の測定 (収量) を実施した。

その他、供試土壌の分析法は Resina 法に準ずるもので (Raji, Andrade, Cantarell e Quaggio 2001: 172-199, 240-250) フィベロン・プレット市にある Ribersolo Ltd. に分析を依頼した。

(3) 試験結果および考察

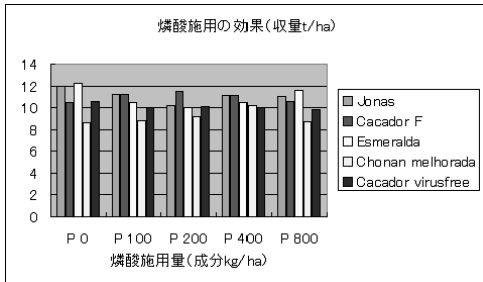
栽培前の土壌分析結果であるが、 $\text{pH}(0.01\text{M } \text{CaCl}_2)$ は 6.8、交換性水素 + アルミニウムは $11(\text{mmol}_\text{c}/\text{dm}^3)$ 、有機物は $24(\text{g}/\text{dm}^3)$ 、

交換性リンは $181(\text{mg}/\text{dm}^3)$ 、交換性カリウムは $3.4(\text{mmol}_\text{c}/\text{dm}^3)$ 、交換性カルシウムは $34(\text{mmol}_\text{c}/\text{dm}^3)$ 、交換性マグネシウムは $15(\text{mmol}_\text{c}/\text{dm}^3)$ であった。つまり、リン、カルシウムおよびマグネシウムに関しては、基準値を遙かに上回る過剰蓄積の傾向にあることが明らかとなった。

図 1 に、各リン酸処理区における採用ニンニク品種の収量応答を示す。また、分散分析の結果から、リン酸処理区 (主区) には有意差は認められなかったが、品種 (細区) には顕著な有意差 (1%) が認められた。

ところが、統計的に有意差が認められないにしても、品種 Cacador F および Chonan melhorada に関しては、リン酸の施用量に応じて球根収量が増大していく傾向が伺えたが、採用品種間の中では前者よりも後者の方が最低の収量になっ

図 1: 代表的なニンニク品種のリン酸に対する収量応答



た(ちなみに、Chonan melhorada は小球であった)。しかし、他の品種に関しては、リン酸の施肥用量が増大していくと収量が低下する傾向にあり、これらの品種にとっては過剰施肥であることが伺えた。なお、本採用品種の中ではEsmeraldaおよびJonasの収量が0kgP₂O₅/haのとき最高であった。つまり、このようなリン過剰蓄積土壌(野菜類での交換性リンの診断基準値としては、表1にも示すが、Raijら(1997)によると、土壌表層0-20cmにおいて、0-10、11-25、26-60、60-120、および120mg/dm³以上がそれぞれ超低、低、中、高および超高に類別されている)では、リン酸の施肥効果が認められないため、農業経営的な側面からも考慮して、必要以上のリン酸肥料を施用せず、大球であった上記二品種を採用してニンニク栽培を実践することが妥当であると判断できた。

3. 慣行的な肥培管理と無施肥間におけるトウモロコシ(雨季作)の生産性・養分吸収量の比較

(1) 実験の背景と目的

ニンニクは乾季における作付作物である。そのため、スプリンクラーなどを用いて、定期的な灌水を実施するわけであるが、雨季と違って、スコールによる土壌養分の溶脱は考慮されていない。そこで、雨季における栽培試験も行う必

要があった。とにかく、同期間中であれば、過剰施肥土壌での作物栽培にとって必要以上の施肥が無意味であることを実証するために、2004年10月、雨季の到来を待って、代表作であるトウモロコシの栽培試験を実施した。

(2) 実験材料および方法

センターの圃場において、慣行法(2004年度の栽培では、配合肥料4-20-20を300kg/ha、そして葉が4枚ほど出芽したら配合肥料20-5-20を150kg/haそれぞれ散布)と比較した形で、無施肥区(但し、元肥ならびに追肥としての窒素施用は実施)を設け、一因子による実験計画法に準じて、一区三連という形で、トウモロコシ(品種:PIONEER 30F80)を栽培した[播種密度:90cm×29cm(約3万8300本/ha)]。そして、子実収量、養分吸収量の測定を実施した(トウモロコシの播種ならびに施肥前の供試土壌は、2004年10月15日に採取した)。なお、土壌ならびに作物体の乾燥・粉碎処理はセンターサンプル調整室において実施し、これらの分析をフィベロン・プレット市にあるRibersolo Ltd.に依頼した。

(3) 実験結果および考察

(3)-1 栽培土壌の理化学的特性

トウモロコシを作付けならびに施肥前の土壌を分析した結果、有効態リンが142mg/dm³、交換性カルシウムとマグネシウムがそれぞれ55および15mmol_c/dm³であった。これらの値も、ニンニク栽培圃場と同様、土壌診断基準を遙かに上回るものであった。つまりこのことは、移住者たちが約40年間、誤った肥培管理を実施してきたことの証であるといえる。

(3)-2 トウモロコシの子実収量

図2に各施肥処理区におけるトウモロコシの

図 2: 各施肥処理区におけるトウモロコシの子実収量

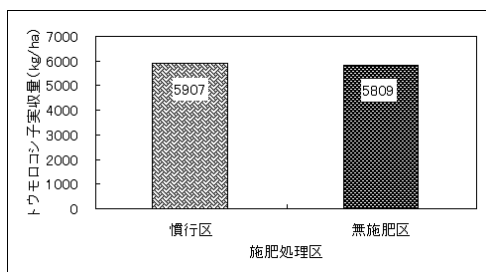
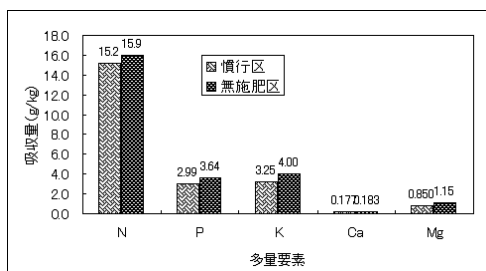


図 3: トウモロコシ子実中の多量要素の吸収量



子実収量の値を示すが、それは処理区間に有意差は認められないという結果であった²。つまり、過剰施肥の状態にある土壌では、必要以上の施肥をしても増収を期待することができないということが明らかとなった。

(3)-3 トウモロコシの多量要素の吸収量

図 3 に子実中の多量要素の吸収量を示す。吸収量に関しては、窒素が一番高い値であり、リン、カリウム、カルシウム、およびマグネシウムは低い値であることが分かる。また、統計的にも両処理区間に有意差は認められなかった。つまり、図 2 と同様、必要以上の施肥を実施しても、トウモロコシの吸収量には限界があり、吸収しきれなかった養分は土壌に蓄積していく

² 筆者が再度ブラジルに赴任したのは 2004 年 7 月だったが、延長を含め 6 ヶ月間しか滞在できず、12 月 24 日に帰国した。当時はまだトウモロコシの収穫前だったため、2005 年 3 月には再び現地に戻って、トウモロコシの収穫をまって土壌と作物体の分析を依頼した。その後、データの取りまとめなどを行った。

ということである。このような行為を安易に続けていくと、過剰施肥土壌を形成してしまうのである。

4. トウモロコシ作付前、中間生育時、および収穫後における土壌の残存肥料養分量の動態比較

(1) 目的

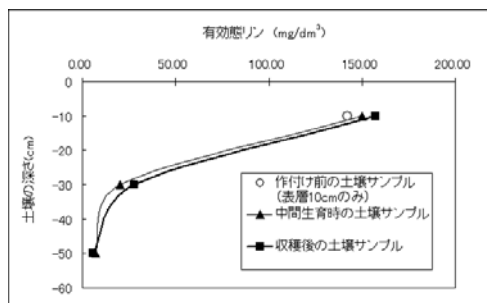
雨季のトウモロコシ栽培圃場の無施肥区における土壌養分の動態を把握するため、トウモロコシの中間生育時(播種約 50 日後)および収穫後の土壌表層 10cm、下層 30cm および 50cm を採取した。前記したように、各層において採取した土壌サンプルは、センターにおいて乾燥・粉碎処理した後、Ribersolo Ltd に分析を依頼した。

(2) トウモロコシ栽培期間中の土壌断層 (0-50cm) に関する作付前(表層 10cm のみ)、中間生育時、および収穫時における土壌の残存肥料養分の動態比較

(2)-1 交換性リンの動態

図 4 に交換性リンの動態の比較を示す。リンに関しては、作付け前、中間生育時、および収穫後において、サンプリング箇所における多少の誤差が生じたのかもしれないが、雨季のスコールが強い時期であっても、リンに関しては移動がほとんど観察されないことが分かった。他の多量要素と比較して、作物による吸収収奪量が少ないことが明らかとなっており(図 2 参照)従来まで、溶リンや鶏糞など、吸収量以上のリンを施用してきたということであろう。その結果、しばらくの期間、施用しなくても作物栽培が実施できるということであり、経費の無駄を避けるということを前提に、定期的な土壌分析を行って、リン酸肥料を施用するかどうかを決

図 4: トウモロコシ栽培期間中の土壌断層(0-50cm)の作付け前(表層10cmのみ)、中間生育時および収穫時の有効態リンの動態の比較



めなくてはならないということである。

(2)-2 交換性カルシウムの動態

図 5 に交換性カルシウムの動態の比較を示す。表層において、作付け前の値と比較した場合、中間生育時ならびに収穫後は低い値を示した。ところが、全層において、中間生育時と収穫後における大差は観察できなかった。つまり、リンと同様、酸性矯正資材であるドロマイトも難溶性であるため(カルシウムは炭酸カルシウムの形で含有されている)土壌中に停滞し、スコールといえども、簡単に溶脱されないと解釈してよいであろう。

(2)-3 交換性マグネシウムの動態

図 6 に交換性マグネシウムの動態の比較を示すが、作付け前の値と比較した場合、中間生育時ならびに収穫後において交換性カルシウムよりは低い値を示した。ところが、中間生育時と収穫後における大差は、交換性カルシウムならびにマグネシウムにおいては観察されなかった。これは、雨季とはいっても、現地では途中雨の降らないペラニコと称される小乾季があるので、降雨量やこのペラニコなども影響していると考えてよいであろう。

図 5: トウモロコシ栽培期間中の土壌断層(0-50cm)の作付け前(表層10cmのみ)、中間生育時および収穫時の交換性カルシウムの動態の比較

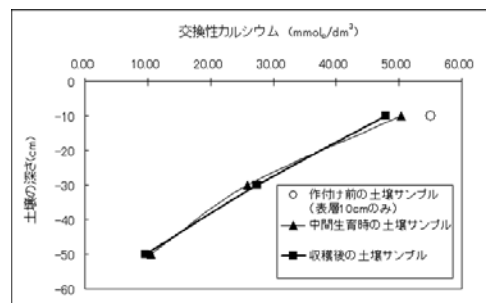
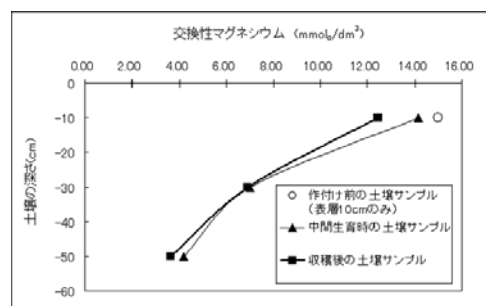


図 6: トウモロコシ栽培期間中の土壌断層(0-50cm)の作付け前(表層10cmのみ)、中間生育時および収穫時の交換性マグネシウムの動態の比較



他方、カルシウムと同様、酸性矯正資材であるドロマイトには、マグネシウムも成分の一つとして炭酸塩の形で含有されている。炭酸塩は比較的水に溶けにくく、土壌表層に残存する傾向にある。また、スコールによって溶脱されても、下層 30cm または 50cm 以内に留まっているものであり、作物は根を伸ばして、その周辺に分布している養分を容易に吸収・利用する。それゆえ、リンと同様、安易に考えて大量の酸性矯正資材を施用することは、もちろん、経済的にも無駄である。この他、溶リンと併せて、

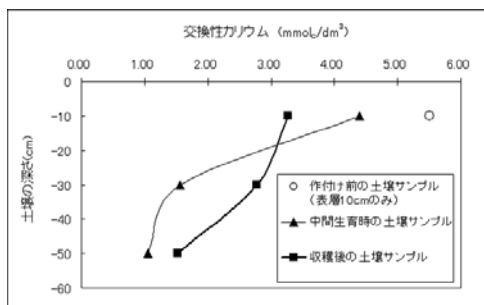
土壌のアルカリ化を促進し、各種微量元素やアンモニア態窒素の肥効を低下させる危険性も生ずる（伊達・塩崎 1997: 13-18, 159-162）。

(2)-4 交換性カリウムの動態

図 7 に交換性カリウムの動態の比較を示すが、カルシウムやマグネシウムと比較して、土壌での残存量は非常に低いことが分かる。これは、ドロマイトのような矯正資材と違って、単肥であれば塩化カリウム、または配合肥料であっても、特にグアタパラの土壌のように、砂含有率が 60～80%（=600～800g/土壌 kg）と高い土壌（富田 2006: 22-24）では、カリウムは安易に溶脱しやすいことが知られている（伊達・塩崎 1997: 26-28）。実際、中間生育時と収穫時の表層をみると、前者よりも後者の残存量が低い、下層 30cm および 50cm においては、後者が前者よりも高い値となっている。これは、スコールによる溶脱が進行し、下層へのカリウムの移動が増大したためであると推察される。しかし、慣行区と無施肥区間でトウモロコシの子実収量ならびに養分吸収量間に有意差がなかったことから、それは交換性カリウムの基準値を満たし、生産性に影響を及ぼさない領域であったと解釈できる（この基準値としては、表 1 にも示すが、Raij ら（1997）によると、土壌表層 0-20cm において、0-0.7、0.8-1.5、1.6-3.0、3.1-6.0 および 6.0mmol_c/dm³以上がそれぞれ超低、低、中、高、および超高に類別されている）。

今後は、特にカリウムに関し、栽培前の土壌分析結果ならびに作物別の施肥勧告書（Raij, Cantarell, Quaggio e Furlani 1997: 9-10, 56-65）の内容に応じて、最低限の施肥を実施することが要求されるかもしれない。この場合、リンが過剰蓄積の傾向にあることを考慮して、三要素を含有した配合肥料ではなく、安価に市販されている塩化カリウム（単肥、50kg 当たり 15 米

図 7: トウモロコシ栽培期間中の土壌断層（0-50cm）の作付け前（表層 10cm のみ）、中間生育時および収穫時の交換性カリウムの動態の比較



ドル前後である）を用いることが重要である。

おわりにかえて

本稿から明らかなことは、化学肥料（50kg 当たり 15 米ドル前後）の購入前、または施肥や作物の播種前に、土壌の化学的特性の分析（つまり pH、交換性リン、カルシウム、マグネシウム、カリウムと水素 + アルミニウム、および有機物の分析であり、これらの項目を依頼する場合は 1 サンプル当たり 5 米ドルかかる）を依頼するように心がける必要がある。そして、その分析結果から判断して、基準値以上となる成分に関しては、必要以上の施肥を実施しないことを、農家一人ひとりが心がけていくことが肝心となる（富田 2006: 28-29）。なお、各移住者にとって、適正な土壌の診断基準値を理解してもらうため、表 1 に交換性リン、pH(0.01M CaCl₂)、交換性カリウム、交換性カルシウムおよび交換性マグネシウムの診断基準値（表層 0-20cm）を示しておく。

謝辞

2003 年から 2004 年にかけての本研究の実施に当たり、センター農業技術研修交流部の川上隆

治部長、牛腸英夫研究員、ならびに上原フェルナンド明広研究員より多大のご指導とご協力をいただいた。この場をおかりして厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 伊達昇・塩崎尚郎編 1997. 『肥料便覧』第5版、東京：農山漁村文化協会.
- グアタパラ農事文化体育協会編 1999. 『翔洋 - 第二のふるさと三十五年史 - 1962 ~ 1997』サンパウロ市：トッパン・プレス印刷出版有限公司.
- Raji, B. van, Heitor Cantarell, José Antonio Quaggio, e Ângela Marina Cangiani Furlani. 1997. *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. Campinas-SP: Instituto Agrônomico (IAC). (IAC. Boletim técnico, 100).
- Raji, B. van, João Carlos de Andrade, Heitor Cantarell, e José Antonio Quaggio. 2001. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas-SP: Instituto Agrônomico (IAC).
- 富田健太郎 2006. 「日系農民の農用地における肥培管理と生産性の関係—ブラジル・グアタパラ移住地の事例研究—」『ラテンアメリカ・カリブ研究』13: 21-29. □