

水田土壌におけるリン酸の統計的解析 第5報

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	藤原, 進
巻/号	44巻9号
掲載ページ	p. 319-322
発行年月	1973年9月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



水田土壤におけるリン酸の統計的解析 (第5報)

多重回帰分析によるリン酸, ケイ酸, 腐植の形態分析

藤原 進*

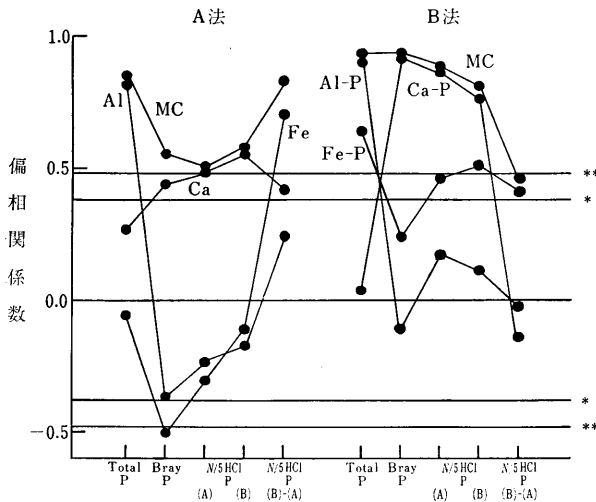
はじめに

前報¹⁾では回帰分析を用いて, 全リン酸, 可溶性リン酸の形態を分析した。この結果を他の方法で裏付けすることは困難であるが, 本報では説明変数に江川・関谷法²⁾の各形態リン酸を用いた方法と比較する。また CHANG and JACKSON 法³⁾を用いた同様の方法はすでに行なわれており, その結果とも比較する。さらにこの方法の応用例として, ケイ酸と腐植の形態分析を試みる。

1. 江川・関谷法の結果を用いた回帰分析

前報では置換性カチオンや N/5 塩酸可溶性カチオンなどを説明変数に用いて, リン酸の形態分析を行なった (A 法とする)。しかしこれらのカチオンが実際に各形態のリン酸を示す変数として, 十分であるかどうかはわからない。しかし説明変数にその形態のリン酸を用いれば, この結果を裏付けすることができる。そこでこの説明変数として, すでに述べたことのある江川・関谷法による結果⁴⁾を用いる

(B法とする)。江川・関谷法のような連続抽出法による形態分析には, 現在まで不十分な点が指摘されている⁴⁻⁶⁾



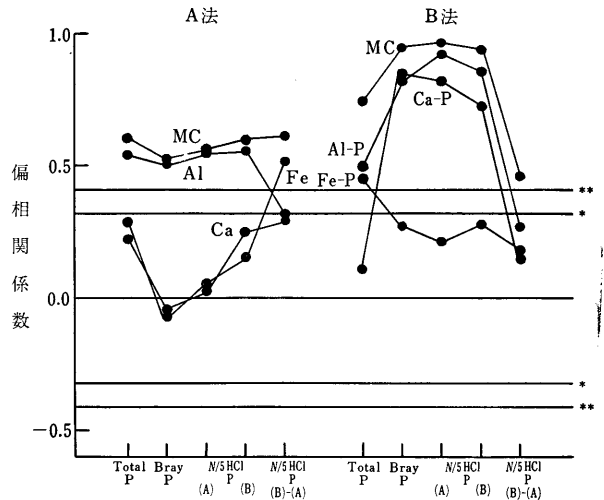
第1図 日本水田作土のリン酸の形態 (N=29)
MC は自由度未修正の重相関係数

* $\alpha=5\%$ 有意 ** $\alpha=10\%$ 有意

* 京都大学農学部 (現在環境分析センター 東京都中央区宝町 2-4, 第2ぬ利彦ビル)

昭和47年8月5日受理

日本土壤肥料学雑誌 第44巻 第9号 p.319~322 (1973)



第2図 マラヤ水田作土のリン酸の形態 (N=41)

が, この方法に大きな誤りはないものと考ええる。

前報で示したように, 可溶性リン酸はおもに無機態のアルミニウム態, 鉄態, カルシウム態であったので, 他の形態は省略する。第1図, 第2図に日本とマラヤの A, B 両法の結果を示す。

(1) 日本

まず全リン酸では A 法で Al-P, B 法で Al-P のほかに Fe-P が新たに有意となるが, 両法とも Al-P が優勢である。可溶性リン酸は両法とも Ca-P であり, よく一致するが, B 法で N/5 塩酸可溶性リン酸 (風乾土, 湛水土) が Ca-P のほかに Fe-P も有意になる。これは前報で述べたように, N/5 塩酸が Bray 抽出液よりも Fe-P を抽出しやすいことを示す。湛水の効果は両法とも Fe-P が有意であるが, A 法で Ca-P も有意になるのは, 前報で述べたようによくわからない。しかし両法の結果はよく一致しているといえる。

(2) マラヤ

全リン酸は両法とも Al-P が優勢であるが, B 法では日本と同様 Fe-P も有意となる。A 法で Fe-P が有意になりにくいのは, 日本, マラヤとも N/5 塩酸可溶性鉄

が Fe-P を示す変数として、十分ではないためと思われる。可溶性リン酸は両法とも Al-P であるが、B 法では Ca-P も有意となる。湛水の効果は A 法で Fe-P であるが、B 法ではどれも有意ではない。

日本とマラヤの両法の結果を総合すると、全リン酸はアルミニウム態が最も優勢であり、可溶性リン酸はアルミニウム態かカルシウム態、またはその両方で、鉄態はほとんど含まれない。しかし湛水によって増加するリン酸はこの抽出されにくい鉄態である。以上の点では両法の結果はよく一致し、また前報で得られた結果を支持する。

2. 水田作土のリン酸の形態

(1) 全リン酸

前報の結果では、東南アジア 3 か国の全リン酸の主要な形態は有機態、アルミニウム態、鉄態、カルシウム態であり、従来の結果とよく一致する^{7,8)}。また東南アジア、日本ともにアルミニウム態が鉄態より優勢であった。本報でもやはり A, B 両法ともアルミニウム態が鉄態より優勢である。

水田作土での CHANG and JACKSON 法による形態分析は数多く行なわれており、とくに酸性では鉄態が主であるとされており⁹⁻¹¹⁾、上述の結果とは一致しない。しかし田中ら¹²⁾が指摘したように、湛水によって解放されるリン酸がアルミニウムによって捕捉されると考えれば、水田作土ではアルミニウム態が増加する傾向にあることは十分考えられる。

(2) Bray リン酸

前報では Bray リン酸は東南アジアでアルミニウム態と多少の有機態、日本でカルシウム態であった。本報でもやはりアルミニウム態(マラヤ)とカルシウム態(日本)である。

PRATT¹³⁾らと SUSUKI¹⁴⁾らと CHOLITKUL⁹⁾らも、CHANG and JACKSON 法の結果を用いた上述の B 法と同様の方法によって、Bray リン酸はおもにアルミニウム態であることを述べており、Bray リン酸が鉄態を含んでいるという報告は少ない¹⁵⁾。

(3) N/5 塩酸可溶性リン酸

前報ではこのリン酸はおもにカルシウム態であり、東南アジアではかなりのアルミニウム態と多少の有機態と鉄態も含んでいることを示した。本報でもやはりカルシウム態であるが、マラヤはアルミニウム態が優勢である。また日本の B 法では鉄態も多少あることを示している。

このリン酸の形態については、現在まで全く報告はないが、SUSUKI¹⁴⁾らによると酸性抽出法である TRUOG 法によるリン酸はアルミニウム態とカルシウム態がほぼ同

量あり、また同じ酸性抽出法であるが、フッ化アンモニウムの効果がある Bray リン酸は上述したように、おもにアルミニウム態である。さらに TYNER^{9,16)}らによるとアルカリ性抽出法である OLSEN 法のリン酸はアルミニウム態のほか鉄態を含んでいる。これらのことから、カルシウム態、アルミニウム態は酸性抽出液に(フッ化アンモニウムのある場合はとくにアルミニウム態)、鉄態はアルカリ抽出液によく抽出されることが考えられる。フッ化アンモニウムの効果がなく、pH の低い N/5 塩酸はアルミニウム態よりカルシウム態を多く抽出することは十分予想され、上述の結果を支持する。しかし上述したマラヤでは必ずしもそうになっていない。これは土壤によってそうならない場合があることを示す。また上述の結果から鉄態は酸性抽出液にも幾分は抽出される場合があるようである。

(4) 湛水の効果

前報で湛水によって新たに N/5 塩酸に可溶化するリン酸は、有機態と鉄態であることを示した。本報でもこのリン酸は鉄態であり、古川らの結果¹⁷⁾とよく一致する。

3. ケイ酸と腐植の形態分析

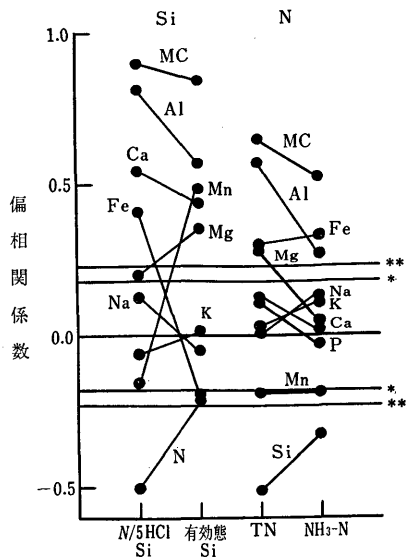
(1) 方法

前述したように、A 法と B 法の結果はほぼ一致し、置換性カチオンや N/5 塩酸可溶性カチオンなどをそれらの形態を示すものとして、説明変数に用いても大きな誤りはないことがわかる。そこでつぎに全く同様の方法を用いてケイ酸と腐植の形態分析を行なう。ただし本報での腐植の形態分析とはリン酸の場合と同様な意味の形態分析である。

説明変数には前報と全く同様のカチオンを用い、目的変数には形態分析すべき N/5 塩酸可溶性ケイ酸(N/5 HCl-Si)、有効態ケイ酸、全腐植を示すものとしての全窒素(TN)、アンモニア態窒素生成量(NH₃-N)を用いる。ただし腐植の場合にはアニオンである N/5 塩酸可溶性リン酸とケイ酸も説明変数に加える。

(2) 東南アジア 3 か国全体の結果

まず第 3 図に東南アジア 3 か国全体についての結果を示す。可溶性ケイ酸はともに Al-Si が最も優勢であり、Ca-Si, Mg-Si も有意であり、ほかに N/5 塩酸可溶性ケイ酸では Fe-Si、有効態ケイ酸では Mg-Si がそれぞれ有意である。pH の低い N/5 塩酸の方が酸性の強いケイ酸を抽出しやすく、リン酸の場合と逆の傾向を示す。またケイ酸の主要な形態はリン酸の形態とよく似ているが、N-Si で示される有機態は負で有意であり、ケイ酸はリン酸と違って、有機態がほとんどないことがわかる。腐植においてもやはり Al-N が最も有意であるが、



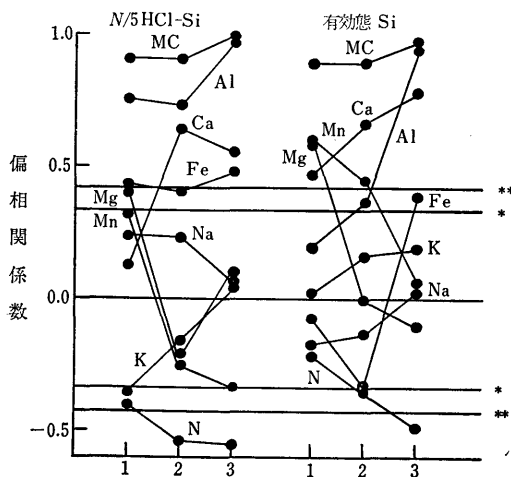
第3図 東南アジアのケイ酸と腐植の形態 (N=127)

湛水によって生成するアンモニア態窒素は Fe-N である。Si-N は負で有意であり、やはり有機態のケイ酸がほとんどないことを示している。

(3) 層別の結果

前報で述べた方法によって種々の層別を行ない、多重回帰分析を用いたところ、上述の結果はよく裏付けされた。しかしリン酸の場合と同様、標本抽出法が層別に適していないので、土壌の性質によるケイ酸や腐植の形態変化はあまりよく解析できない。

カオリンによる層別の結果を第4図に示す (カオリン



第4図 カオリンによる層別

- 1. 20~35% N=43
- 2. 40~50% N=41
- 3. 55~100% N=43

含量は X 線析図のピークの面積から求められる。)19) まず N/5 塩酸可溶性ケイ酸では Al-Si, Fe-Si は常に有意であるが、カオリンが少ないと Mg-Si, 多いと Ca-Si が有意になる。また有効態ケイ酸ではカオリンが少ないと、Mn-Si, Mg-Si が有意であり、多くなるにつれて Ca-Si と Al-Si の有意性が高くなる。この両者に共通していることは、カオリンが少ないとケイ酸は Mg-Si, 多いと Ca-Si が多くなる。これは風化が進むとマグネシウム態が減少し、カルシウム態が増加することを意味する。しかしマグネシウム態はカルシウム態より風化に対して安定とされており19), この結果と矛盾する。全ケイ酸の形態分析ではないので、この点についてはさらに検討を要する。しかしこれはリン酸、ケイ酸、腐植を通じて、層別によって土壌の性質と形態変化が対応した唯一の例である。今後はこのような目的にそった標本抽出を行ない、さらに詳しい解析をしてゆきたい。

4. 多重回帰分析による形態分析

土壌を無定形物の混合系と考え、結晶でなくても適用できる方法として、多重回帰分析をとりあげた。この方法を土壌リン酸の形態分析に応用するにあたって、たとえばアルミニウムが多い土壌ではアルミニウム態が多いと考え、リン酸とカチオンの相関から形態分析を試みた。アルミニウムの多い土壌でアルミニウム態の少ない土壌も例外的には存在することも考えられるが、多くの土壌を用いて、共通した傾向を求めようとした。

土壌リン酸が仮定したように、(Fe-P)+(Al-P)+(Ca-P)+... というようなほぼ各形態の和として表わされる状態で存在しておれば、変数をうまく選択することによって、回帰分析で形態分析が可能はずである。(実際形態分析というかぎり、そのような状態を前提している。)

この方法は現在のところまだ完全とはいえないが、このような統計的な方法を用いた解析はまだ始まったばかりであり、種々の困難が予想され、さらに検討を加え、発展させてゆきたい。

最後にこの方法の長所としては、

- 1. マンガン態やマグネシウム態などのリン酸がかなり存在する土壌であれば、このような形態も分析できる。
 - 2. ケイ酸などの形態分析にも応用できる。
 - 3. 主要な成分がすでに定量されておれば、計算だけで形態分析ができる。
- などがあげられる。

まとめ

- 1) 説明変数に置換性カチオン、N/5 塩酸可溶性カチオンなどを用いる方法は説明変数に江川・関谷法の結果

を用いる方法とその結果には大きな違いはない。

2) 水田作土では全リン酸はアルミニウム態が主であり、酸性抽出液で抽出されるリン酸はアルミニウム態かカルシウム態、またはその両者である。

3) ケイ酸の主要な形態はアルミニウム態、鉄態、カルシウム態などであり、リン酸の形態とよく似ているが、有機態がほとんどないという点でリン酸と異なる。

4) ケイ酸は風化によって、マグネシウム態が減少し、カルシウム態が増加するようであるが、この点についてはさらに検討を要する。

5) 腐植はアルミニウムと最も強くかかわりあっているが、湛水によって生成するアンモニア態窒素は鉄のほうが強くかかわりあっている。

6) リン酸、ケイ酸、腐植に最も強くかかわっているのは、共通してアルミニウムである。

謝辞 京都大学農学部土壌学研究室の方がたに感謝します。

文 献

- 1) 藤原 進: 土肥誌, 44, 313 (1973)
- 2) 江川友治・関谷宏三: 畑土壌の生産力に関する研究(農林

水産技術会議研究協議会分担研究報告) p. 39 (1959)

- 3) CHANG, S. C., and JACKSON, M. L.: *Soil Sci.*, 84, 133 (1957)
- 4) 藤原 進: 土肥誌, 42, 372 (1971)
- 5) FIFE, C. V.: *Soil Sci.*, 96, 112 (1963)
- 6) 和田光史・JACKSON, M. L.: 土肥要旨集, 8, 27 (1962)
- 7) HEMWALL, J. B.: *Adv. in Agron.*, 9, 95 (1957)
- 8) LARSEN, S.: *Adv. in Agron.*, 19, 151 (1967)
- 9) CHOLITKUL, W., and TYNER, E. H.: *Proc. int. symp. soil Fert. Evaln.*, New Delhi, 1, 7 (1971)
- 10) CHANG, S. C., and Juo, S. R.: *Soil Sci.*, 95, 91 (1963)
- 11) 江 景村: 土肥誌, 34, 360 (1963)
- 12) 田中 明・渡辺紀元・石塚喜明: 土肥誌, 40, 406 (1969)
- 13) PRATT, P. F., and GARBER, M. J.: *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28, 23 (1964)
- 14) SUSUKI, A., LAWTON, K., and DOLL, E. C.: *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 27, 401 (1963)
- 15) AL-ABBAS, A. H., and BARBER, S. A.: *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28, 221 (1964)
- 16) TRIPATHI, B. R., TANDON, H. L. S., and TYNER, E. H.: *Soil Sci.*, 109, 93 (1970)
- 17) 古川秀顕・川口桂三郎: 土肥誌, 40, 141 (1969)
- 18) 服部共生・古川久雄・川口桂三郎: 東南アジア研究, 3, 151 (1965)
- 19) POLYNOV, B. B.: *The Cycle of Weathering*, Thomas Murby (1937)