

歴史の中の肥料—グアノ物語 5

京都大学名誉教授

高 橋 英 一

グアノラッシュは何故起こったか

1850年台から60年台にかけて、アメリカで異常なグアノブームが起こった。これは時を同じくしてカリフォルニアで始まった「ゴールドラッシュ」になぞらえて、「グアノラッシュ」と呼ばれた。ブームは19世紀末には終わったが、アメリカが海外へ領土拡張に乗り出すきっかけをつくるなど、多くの影響をあとに残した。南海の孤島に堆積した鳥の糞が、何故このようなインパクトをもたらしたのか、これからそれについて考えてみたい。

耕地におけるリン不足の進行

19世紀は肥料鉱物資源が相次いで発見され、作物へのN, P, K, の供給が、有機物依存の束縛を脱した時代であった。すなわち19世紀前半のグアノ、チリ硝石（中南米）、後半のカリ鉱石（ドイツ）、リン鉱石（北米）の発見である。*1 その中でPとNの2成分を含んだグアノは、とくに顕著

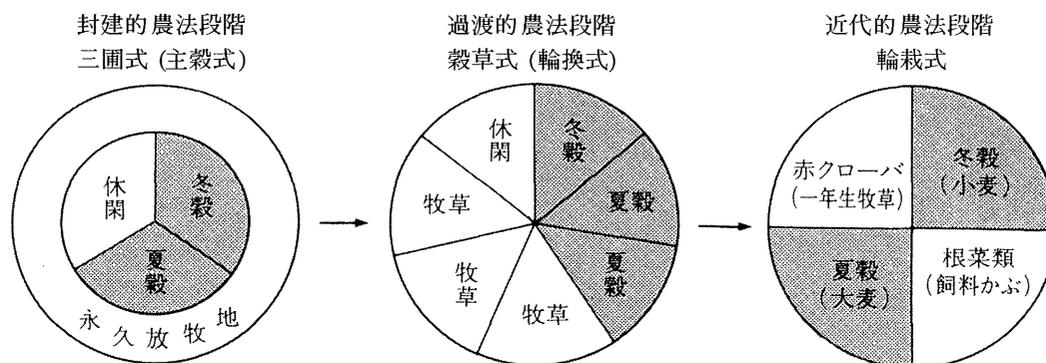
な肥効を現したであろう。

これらの肥料鉱物資源の導入に先立つ18世紀後半、ヨーロッパとくにイギリスでは骨粉の肥料価値が注目を浴び、リンの肥効を高めるために硫酸で処理した過リン酸石灰が登場したが、この背景には耕地にリン不足が広がっていた可能性がある。

18世紀までのヨーロッパの農業は、輪作方式の改良を中心に地力の維持向上を図ってきた（図6参照）。栽培の過程で土壌中にあったN, P, K, は作物によって吸収され、収穫物とともに耕地の外に持ち出される。またこれらの養分は、雨によって溶脱あるいは流亡する。したがって失われた養分を補給しなければ、地力が衰え生産性は低下する。

そのため収穫物を利用後、土壌から持ち去られた養分を堆厩肥や尿尿などの形で耕地に返すことが一般に行われてきた。しかしこの場合PはN,

図6. 各農法段階における土地利用方式（加用信文 日本農法論8頁 御茶の水書房より引用）



農耕は次第にヨーロッパ全土にひろがっていったが、アルプスの北は南の地中海沿岸地域にくらべると湿潤であった。8世紀の中頃になると、土地の利用率を高める必要がでてきたため、二圃式は次第に三圃式に移行していった。これは耕地の3分の2を利用するもので、3分したはじめの一つに、秋にライムギやコムギなどの越冬作物を作付けし、春になるとつぎの3分の1に夏作物のカラスムギやオオムギ、ときにはインゲン豆、レンズ豆、エンドウ豆などの莢物を栽培し、残りの3分の1は休閑する。この三圃式は播種の時期が秋と春の2回に分れるので、農作業の均分化と凶作の危険分散というメリットがあった。また農耕具をひかせる家畜として馬は牛よりすぐれているが、草を食べさせておればよい牛とちがって、馬は飼料として穀物が必要なため簡単ではなかった。しかしカラスムギの栽培の普及によって馬の使用が一般化されるようになった。その後休閑地に飼料用の作物が栽培されるようになり（穀草式あるいは輪換式）、休閑をやめて耕地のすべてを利用する輪裁式に到達する（18世紀）に及んで、輪作農法は一応完成する。

Kに比べて戻りにくい傾向がある。何故なら作物の利用者である人間も家畜も脊椎動物であるため、食物や飼料中のPは骨の中にリン酸カルシウムとして固定されてしまうからである。

そのPの量は、例えば生体重200キログラムの大型家畜300頭で1トン近くになる。このようにして骨の中に固定されてゆくPは長年の間には少なからざる量になるが、それは18世紀に骨粉肥料が登場するまで、耕地に返されることはなかった。^{*2}

これに対して、Nは大気中の窒素ガスが空中放電によって酸素ガスと結合して硝酸となり、雨に溶けて地表にもたらされ、また土壌中の窒素固定微生物によってアンモニアに変えられる。その量は、海への溶脱と大気への脱窒による損失にほぼ見合うと推定されている。^{*3} Pの場合このような天然供給は期待できないので、相対的にP不足になり易いと思われる。

環境中のリンの動き

地球上の物質はすべて重力の作用を受ける。陸地の養分も高所から低所へ移動し、最終的には河川等によって海へ運び去られる。

一年間に河川によって海へ運ばれるPの量について次のような推定がある (R.W. Howarth et al: Transport to and processing of P in nearshore and oceanic waters, p324 in Phosphorus in the Global Environment. John Wiley & Sons 1995による)。

粒子状P 2000万トン*+溶存P 100万トン=2100万トン

*懸濁物量 $17.5 \cdot 10^{15} \text{g/y}$ × 懸濁物のP含有量 1.15mg/g

一方陸地の土壌中に含まれているPの量として、 $1.6 \cdot 10^{11} \text{t}$ という推定値がある。この値を一年間に陸上から失われるPの推定値 $2.1 \cdot 10^7 \text{t/y}$ で割ると $0.8 \cdot 10^4 \text{y}$ 、すなわち現在土壌にあるPは8000年で海へ流れ去ってしまう計算になる。

陸上では岩石の風化による新たな土壌生成があるものの、土壌のP肥沃度は徐々に低下してゆく傾向にある。その一方海底には莫大な量のPが堆積してゆく。^{*4}

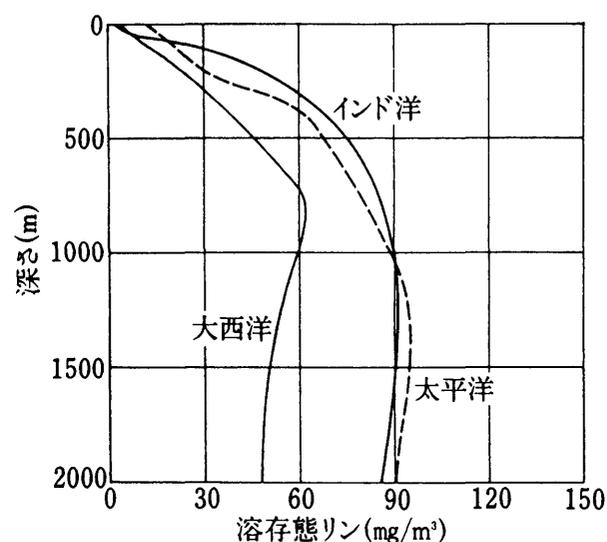
それにもかかわらず陸上の植物生態系が繁栄し続けていることは、海からPの供給があったことを示唆している。ではこの重力の反対方向へのP

の輸送は、何によって行われているのだろうか。

反重力方向へのリンの輸送

海中のPは先ず光合成を営む植物プランクトンによって取り込まれる。しかし光の届かない深海部にあるPは利用されない。そのため外洋の光合成が可能な有光層 (水深100メートル以内) のP濃度は20ppb以下と深海部より著しく低くなっている (図7)。

図7. 海水中に溶存しているリンの垂直分布 (Gifford 1970)
柳 哲雄 海の科学 91頁 恒星社厚生閣 (1988)



これに比べると、河川による栄養塩の供給がある沿岸部や、湧昇流によって深海部にあった栄養塩が表層に運ばれてくる海域のP濃度は数倍高い。それを反映して単位面積当たりの年間一次生産量は、大洋域に比べて沿岸域、湧昇域で著しく高くなっている。表1に見られるように、湧昇域は全海洋面積の0.1パーセントに過ぎないが、魚類の総生産量の半ばを占めている。

海中のP (0.04 ppm) は、植物プランクトン (P: 0.4%) によって10万倍に濃縮され、これを捕食する魚類 (P: 1.8%) によってさらに5倍近く濃縮される。この魚を海鳥が捕食し、魚に含まれていたPは営巣する岩礁上に排泄され、グアノ (P: 5~10%) として堆積する。

こうして海の中にあったPは陸上へもたらされるが、この反重力方向へPを運ぶ原動力は湧昇流と鳥の飛翔力である。

ている。これは海へ流れ去ったPが陸上にもたらされるルートの中で最大のものであるが、その原動力になっているのは地殻変動という自然の力である。

リン循環の特殊性

19世紀後半のアメリカでグアノラッシュが起こったが、その背景の一つに、Pの循環の特殊性があるように思われた。

自然界におけるPの働きはもっぱら重力の支配下にあり、陸上のPは次第に海へ失われ海底にたまってゆく。この海底に堆積したPは地殻変動によって陸上にもたらされるが、それまで陸地はPについて全体として貧栄養化してゆくことになる。とすれば施肥の行われぬ自然の植生は、長年の間に何らかの影響をうけると思われるが、どうであろうか。

現在富栄養化への関心の高まりから、陸域から水域へのPの移行についての研究は多い。しかし上の疑問に答えるためには、その逆の方向すなわち水域から陸域へのPの働きを明らかにする必要がある。これは今後の研究課題であろう。

おわり

*1 これらは19世紀半ばからヨーロッパの耕地に加速度的に投入されるようになった。

例えば、「ザクセン王国がペルーより輸入せるグアノの量は、1842年には僅かに5ツエントネル（1ツエントネル＝50キログラム）であったが、1846年には5,568ツエントネルに、1850年には19,725ツエントネルに達した。また、南米各港より積み出されたチリ硝石の総量は、1830年には850トンに過ぎなかったが、1850年には23,000トンに、1870年には132,450トンに及んだ。あるいはまたスタッスフルトのカリ坑から掘り出されたカイニットの生産量は、1865年には1,313トンに、1868年には10,463トンに、そして1870年には18,877トンにのぼった。

これらの肥料資源の開発により、農業生産は飛躍的に向上した。1840年より1880年の間に、

ドイツに於ける小麦、ライ麦、大麦、燕麦、エンドウ等のモルゲン（0.25ヘクタール）当たり収量は、50ないし100パーセント高められたといわれる。」

（三沢嶽郎：リービッヒの思想とその農業経営史上における意義 22—23頁 農業技術研究所報告 H2号1951年6月）

*2 リービヒはその著「化学の農業及び生理学への応用」の中で次のように述べている。「ドイツでは人民の3分の1がジャガイモを主食にしている。もしジャガイモが存在しなかったら、ドイツの農業者は骨粉に高い評価を与えざるを得なかつただろう。彼らはその価値を殆ど理解できなかつたので、数百万ツエントネルの骨粉の輸出を70年以上も傍観してきたのである。イギリス人にとって骨粉の輸入が必要であったとすれば、ドイツの畑からの骨粉成分の収奪が、ドイツにとって不利であったと考えるに十分な理由がある。骨粉がイギリスの畑で穀物とクローバーの収量を高めたとすれば、ドイツの畑の穀物とクローバーの収量は、イギリス人が受け取った分だけ低下したに違いない」（吉田武彦訳 北海道農業試験場資料30号22頁1986）。（筆者注：同一単収を得るためのジャガイモのP要求量は、コムギの5分の1ですむ）

*3 陸上からのNの損失

河川を通じての海への溶脱 $10 \sim 25 \times 10^6$ トン/年
脱窒による大気への揮散 $100 \sim 160 \times 10^6$ トン/年
陸上へのNの供給

大気窒素の放電等による固定 10×10^6 トン/年
大気窒素の生物による固定 140×10^6 トン/年
（木村真人 地球上における各種元素の循環、土の化学 133—137頁 化学総説1989 No4 学会出版センター）

*4 海に入ったPは生物学的あるいは無生物的にリン酸カルシウム、すなわち海成リン鉱石に変えられ海底に堆積する。その推定量は 8.4×10^{11} トンに上る。これは陸上の土壤中のPの総量 1.6×10^{11} トンの五千倍である

（木村真人 同上）