著作権等の理由により画像を掲載することができません。

肥料資源「リン酸」が枯渇する!?

The disappearing nutrient

NATASHA GILBERT 2009年10月8日号 Vol. 461 (716-718)

リン酸肥料は過去 100 年、世界の農業生産量拡大に大きく貢献してきた。 しかし、近い将来、その資源が枯渇するかもしれない。 リン酸の危機を追う。

いまから 10 年前、汚水処理工場の現場で、Don Mavinic は設備に詰まった沈殿物を取り除く作業に取りかかっていた。細菌を利用して下水の汚泥を浄化するのだが、配管やポンプには「ストルバイト」という固形物がこびり付いていた。ブリティッシュ・コロンビア大学(カナダ・バンクーバー)の土木技師である

Mavinic は、このストルバイトが単なる ゴミではないことを知っていた。リン酸、 マグネシウム、アンモニウムなどが混じ り合ってできたストルバイトには、植物 が必要とする重要な栄養素の多くが含ま れているのだ。

Mavinic は、この沈殿物を水処理工程 で取り除く技術を開発し、今それを「グ リーン肥料」として売り出している。この技術は、2007年にエドモントン(カナダ・アルバータ州)の下水処理工場で初めて実用化された。その後、ポートランド(米国オレゴン州)の処理工場にも輸出され、2009年に稼働を始めた。同年9月には、ダービー(英国)の下水処理施設でも技術試験に成功している。

主成分が燐灰石であり、これに硫酸を作用させて肥料である過リン酸石灰などを生産する。

「リン鉱石および燐灰石が、多くの国にとって戦略物資になりつつあると私は考えています。今後、その重要性はますます高まるでしょう」とIFDC(土壌肥料農業開発国際センター;米国アラバマ州マッスルショールズ)のSteven Van Kauwenbergh は指摘する。燐灰石を巡って政治的・社会的な緊張が高まると、世界経済の基軸が石油からリン酸に移りかねない、と指摘する科学者や産業人もいる。

世界のリン酸使用状況を調査したストックホルム環境研究所の水資源専門家 Arno Rosemarin は、次のように話す。「これほど重要なテーマがほとんど理解されておらず、政治の場で話し合われていないのは、極めて奇妙です」。しかし 2009 年11 月、世界の食糧安全保障に関する国連の会議で、この問題が初めて提起された。いよいよ国際社会がこの問題に注目し始めたといえよう。

残りあと 10年?

リンは土壌からの供給量だけでは足りない栄養素であり、多くの国々で、農家はリン酸肥料を投入して収量を高めている。それが世界的な燐灰石の採掘業を生み、その総売上は年間数百億ドル(数兆円)にも上る。

米国地質調査所(USGS;バージニア州レストン)は、地中に眠る燐灰石資源を約620億トンと推計している(右の円グラフを参照)。この数字には、現時点で採掘可能な150億トンのほかに、未開発分も含まれている。主な未開発資源には、不純物としてカドミウムなどの有害金属が種々含まれているもの、採掘困難な海底下にあるものがある。

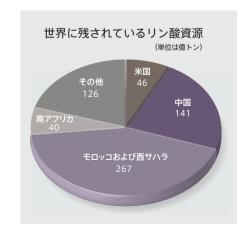
USGS による最新のデータによれば、 2008 年には全世界で 1 億 6100 万トン の燐灰石が採掘されたという。調査に 当たった燐灰石商品の専門家 Stephen Jasinski は、肥料の需要は今後 5 年間で 毎年 2.5 ~ 3 パーセント成長すると予想する。この伸び率が続けば、世界の埋蔵量は 125 年ほどで底をつく計算だ。

これでもかなり楽観的な予想だが、世界の肥料生産企業の90パーセントが加盟する国際肥料産業協会(フランス・パリ)でも、同じような見通しをもっている。同協会の生産・国際取引委員会で事務局長を務めるMichel Prud'hommeによれば、「協会は、肥料の需要はかなり穏やかなスピードで成長し、今世紀半ばには落ち着くと予想している」という。そのとおりなら、リン酸資源はさらに100年長くもつことになる。

しかし、肥料の需要は急速に増大し、 もっと早く不足するようになる、との予 測もある。需要増の一因は世界人口の増 加だ。国連食糧農業機関 (FAO) によれ ば、食糧生産量は、2050年までに最低 でも倍増させる必要があるという。

不純物を含む資源や海底資源は、環境的にも経済的にも代償が大きいので、これらに依存すべきではない、とRosemarinらは指摘する。そして年3パーセントの需要増が続けば、残された採掘可能な無害の燐灰石資源は50年で払底するだろう、とRosemarinはみる。

しかし、どの推定値も、信頼できるデータが存在しない点が泣きどころだ。Prud'hommeによれば、世界の燐灰石採掘企業の多くは肥料会社と統合しており、鉱山はそうした企業の所有物か、さもなければ国家の管理下にあるとい



ストルバイトのリサイクルは、もっと大きな問題の解決に役立つ可能性もある。それが燐灰石供給の先細り問題だ。あらゆる生物は、リン酸という形でリン元素を必要としている。リン酸は、RNAやDNA、そして細胞代謝で重要な役割を担っている。中国、米国、モロッコなどの国では、毎年数百万トンもの燐灰石が採掘されており(上の写真を参照)、その多くが農業用肥料となっている。しかし資源には限りがあり、100年も経たずに消滅する可能性がある。

どれだけのリン酸資源が残されているのか、いつ掘り尽くされてしまうのか、専門家の意見は分かれている。しかし、資源が不足する時期は近づきつつあり、その結果、将来の世界の食糧供給が不安定になる、という主張は多い。ちなみに、地中から掘り出されるリン鉱石の

う。それもあって、リン酸資源の埋蔵量 に関して正確で中立的な情報を得るの が困難となっている。

FAO 植物生産・防疫部次長の Eric Kueneman は、「実際のところ、公的機関である我々は、企業の情報を真に把握しているわけではなく、企業側も他社の情報をもっていません。リン酸資源が枯渇するのかどうか、的確に答えるには、現実を正しく映し出す"水晶玉"が必要なのです」と語る。

国際肥料産業協会では、現存する資源 量と採掘可能埋蔵量について、加盟企業 からデータを収集している。しかし、デー タを提供する企業は、市場での自らの地 位を損ねるような情報提供を避ける傾向 があり、その正確さを疑問視する専門家 もいる。

信頼のおける資源量データがない

シドニー工科大学(オーストラリア)でつい最近、「リン酸資源が食糧安全保障に及ぼす影響」に関する博士論文を完成させた Dana Cordell によれば、中国とモロッコについては、政府が提供するデータも極めて怪しいという。例えば中国が報告する燐灰石埋蔵量は、世界貿易機関に加盟した 2001 年に、それまでの20 億トンそこそこから80 億トン近くにまで突然跳ね上がった1。

Cordell と Kueneman は中立的なデータ収集をめざしている。「エネルギーや水、窒素とは違い、リン酸資源は取り扱う国際機関が存在しません。それがとてもやっかいなのです」と Cordell。

IFDCも、世界のリン酸資源と埋蔵量がどのくらいあるかについて、もっと確かなデータを得たいと考えている。IFDCでは、どれだけのリン酸が存在するのか、純度はどれくらいなのか、将来的に利用可能となりそうなリン酸はどれだけなのか、既存の鉱脈はいつまでもつのか、大規模にデータを収集するために、リン酸生産企業、学術機関、その他の鉱業専門家に尋ねるプロジェクトを近々発足させたいと考えている。プロジェクト



水処理施設の配管にたまるストルバイトは、リン酸資源の貴重な供給源だ。

を主導する Van Kauwenbergh は、初回のデータを来たる 5 月に発表する計画で、資金が確保できれば、調査をさらに 5 年間継続したいと考えている。

リン酸資源埋蔵量に関するUSGSの数字は、発表情報の中では最も多く引用されている。しかし、それは生産者からの直接情報ではなく外国政府から得たものであり、中立的に確認されていないために問題が残る。「USGSのデータは、引用や引用の孫引きに基づいているため、どれほど確かなのかわかりません。数字は絶えず変わるからです」と Van Kauwenbergh はいう。

リン酸業界を追いかける人々からは、 リン酸資源の枯渇には根拠がない、とい う声も聞かれる。Jasinski は「確かに差 し迫った危機ではないと思いますが、注 意を払う必要はあります」と語る。

Prud'homme は、将来の見通しについて自信をもっている。需要が増えれば価格も上がるため、企業は新たな埋蔵資源を探索し、手の届きにくい場所や低品位の燐灰石からリン酸を回収するはずだからだ。「食糧や肥料の需要を満たす十分な埋蔵量があると思っています」。

Prud'homme によれば、以前は経済 的に無理と考えられていたペルー、オー ストラリア、ナミビア沖で、企業が資源 調査を開始しているという。こうした新 たな資源埋蔵量は、世界のリン酸資源に 関する最新の USGS の数字には十分反 映されていないという。また、既存の鉱脈には掘り尽くされたものがあり、サウジアラビアのように開発中の所もある。「未発見の鉱床があるのは間違いありませんが、その規模がどれほどあるのかについては、何ともいえません」と Prud'homme は語る。

探査を続ければ新たに大きな埋蔵場所が発見されるだろうとか、それによって長期的問題は解決されるだろう、といった意見には懐疑的な意見もある。Jasinski は、最大の未採掘埋蔵量を誇るモロッコを引き合いに出し、「第二のモロッコはないでしょう」と予想する。

その一方で、企業は、低品位の鉱石や海底埋蔵物を掘る新技術への投資を開始している。こうした高コスト生産への移行に弾みをつけたのが、2008年の燐灰石価格の高騰だった。一時はトン当たり500ドル(約4万5000円)に達し、2007年の平均価格の5倍を超えた²。それ以前の5年間は、価格は比較的落ち着いていた。価格高騰の原因は、記録的な原油価格の高騰と、インドと中国でのリン酸肥料の需要増による燐灰石需給の逼迫とされた。その後、価格は高騰前の2007年水準に下落している。

リン酸肥料の代替品はない

新しい資源開発への投資は進められているが、長期にわたる採掘ができない可能性がある。リンショーピン大学(スウェーデン)で水と土地資源を研究するJan-Olof Drangertは、「世界が持続可能な枠組みを求めているのであれば、低品位の資源は解決策にはならない」と語る。低品位リン酸の採掘は非常に高くつくばかりか、動植物の生命を強く害するカドミウムが土壌を汚染するからだ。「しかも、こうした低品位資源自体の枯渇問題が、その後に待ち受けているのです」と付け加える。

2008年にみられた肥料需要の増大は、特に食糧需要が一部の推計の指摘 どおりに伸びるとすれば、あるいは未 来を先取りする現象だったのかもしれ

肥料を長持ちさせる

たとえ大量のリン酸資源が存在しようとも、リン酸肥料の使い方には改善の余地が大きい。そう語るのはコロラド大学ボールダー校(米国)の生物地球化学者 Alan Townsend だ。「肥料は安上がりな保険と考えられていて、農作物栽培の失敗を恐れて過剰に使われる傾向があるのです」。

Townsend によれば、z0 20 年間、欧米では広範囲の過剰施肥が抑制されてきたが、過剰施肥は他の国々では依然として問題になっているという。問題の1つが中国で 5 、コムギの生産で必要量の2倍近い肥料が使用されている。

しかし、過剰な施肥が真に不当なものかどうかについては、専門家の意見は分かれる。パデュー大学(米国インディアナ州ウェストラファイエット)の作物学者 Tony Vyn によれば、EU と米国では、過剰施肥が土壌中にリン酸を残留させており、今は、リン酸投入量を作物の必要量よりも低く抑えることによって、それを利用している。この事実をみれば、中国の農家のやり方が非合理的だとはいえない、と Vyn はいう。

リン酸資源の保護には、産業技術も貢献しうる。現在、リン酸の 40 ~60 パーセントは燐灰石から肥料を作る間に失われている。そのロスを減らす研究開発も進行中だ。 (著者)



ない。2008年の価格高騰は「農家にとって大打撃だった」と Cordell はいう。肥料を配給制にせざるを得ないケースもあった。

「要するに、食のコストが上がるということです。安いランチは姿を消してしまうでしょう」と Rosemarin。

供給国が極めて少ないという事実が、世界のリン酸資源の不確実性を増大させている。中国、モロッコ、米国、ロシアを合わせると世界のリン酸資源の70パーセントを超え³、したがって「市場操作の可能性が付きまとう」とIFDC所長のAmit Roy は指摘する。

既に戦略的な作戦行動は始まっているようにみえる。2004 年 3 月、米国とモロッコは、ほかの商品とともに燐灰石をカバーした自由貿易協定を締結した。2008 年、モロッコは 6500 万ドル(約58億5000 万円)相当の肥料を米国に輸出した 4 。米国は世界でも有数の燐灰石埋蔵量を誇るが、25 年後にはフロリダ州の主要な鉱床で生産がピークに達し、生産量が激減するとみられている。Rosemarin によれば、モロッコとの協

定は、米国の将来の肥料・食糧供給の確保を見据えたものだという。

限りある資源の中には、原油のように、 代替品が見つけられるものもある。ところが、リン酸には現在のところ代替品が ない。ゆえに、使用量の削減が埋蔵量の 延命に役立つ(コラム「肥料を長持ちさせる」を参照)。

最も量を稼げるのは、下水処理工場のリン酸資源を回収するリサイクルだろうというのが、衆目のほぼ一致するところだ。その実践者である Mavinic の簡単な計算によれば、カナダ国内の汚水処理施設がすべて彼の微生物技術に転換されれば、現在の必要量の30パーセント程度を満たす肥料生産が可能だという。

しかし、これよりはるかにインパクトの強いリン酸供給源が存在する。それが 酪農や養豚から生まれる堆肥だ。家畜の 排泄物には、人間の5倍ものリン酸が 含まれている。世界では、人口の10倍 以上に当たる650億頭もの家畜が飼わ れており、Mavinicは「家畜の排泄物 からのリン酸回収には大きな可能性がある」と強調する。 Mavinicの研究チームが取り組んでいるのは、家畜の排泄物に含まれるリン酸が、ストルバイトとは異なり、水溶性をもたない問題だ。家畜排泄物からのリン酸回収に成功すれば、それこそ「青天井だ」と Mavinic。「カナダに肥料を輸入する必要がなくなるでしょう」。

しかし、時間の問題がある。回収技術が整って新たなリン酸供給が軌道に乗るまで、10年はかかるかもしれない。今のところ、各国は限りあるリン酸資源についてほとんど関心を示しておらず、せっせと資源を消費し続けている。解決策がようやく実現したとき、世界は既に肥料不足と食糧危機に陥っている可能性がある。

(翻訳:小林盛方)

Natasha Gilbert は、Nature ロンドンオフィスの記者。

- Rosemarin, A. Down to Earth June, 27-31 (2004).
- 2. USGS Mineral Commodity Summaries: Phosphate Rock (USGS 2009).
- 3. IFDC Global Phosphate Reserves, Resources and Future Production (IFDC, 2008).
- 4. http://www.moroccousafta.com/tradedata.htm
- 5. Vitousek, P. M. et al. Science **324**, 1519–1520 (2009).