

【基調講演】Ⅱ

## 枯渇リン資源の循環による自給体制の構築

### ～生命の栄養素の管理をめざす国内外の動き～

早稲田大学総合研究機構リンアトラス研究所 客員教授  
リン資源リサイクル推進協議会 会長

大竹久夫

#### 1. はじめに ～生命の栄養素～

人間の体は元素でできています。酸素、炭素、水素、窒素、カルシウム、リンの 6 つの元素で人間の体の 99% が構成されています。このように人間の生命を構成する元素を「生命の栄養素 (バイオ・ニュートリエント、Bionutrient)」と呼びます。生命の栄養素は地球規模で大きく循環していて、人間もその一部です。生命の栄養素の流れを地球規模で管理する考え方が、ヨーロッパを中心にできています。生命の栄養素の流れを管理することは、食料生産、資源保護、環境保全、そして産業と経済にとって重要なことになっています。

農業は、生命の栄養素を人間が摂取できるように変換する行為です。リンは、農業に絶対的に必要な元素です。リンが安定的に供給されないと、持続的な農業、あるいは食の安全保障が実現しません。今、人間が使っているリンのほとんどは、天然資源のリン鉱石から得られています。豚ふんや鶏ふん中のリンも、元をたどっていくとリン鉱石に行き着くのです。

#### 2. リン資源

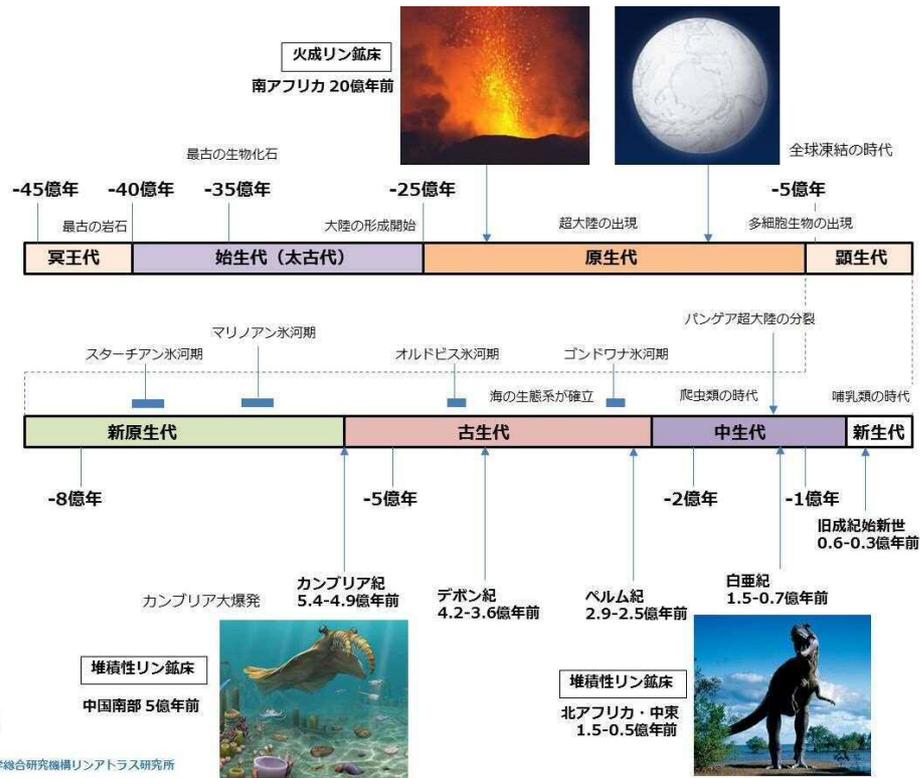
##### (1) 歴史

地球 46 億年の歴史の中で、今から 6 億年前のカンブリア紀から、恐竜の時代の 1 億年前までの 5 億年の間に、リン鉱石は作られました (図 1)。その長い歴史のなかで、人間はわずか 350 年前にリンを発見し、150 年前にリン鉱石を発見したのです。

##### (2) 資源量

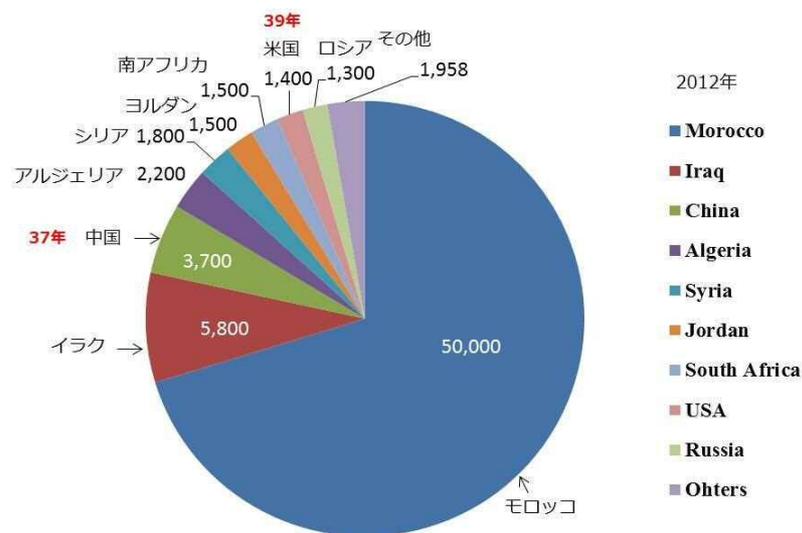
世界のリン資源量は 670 億トンあり、年間採掘量は 2.2 億トンなので、耐用年数はおよそ 300 年 (≒670 億トン÷2.2 億トン/年) と計算されます。46 億年という長い時間をかけて育んできたリン鉱石を、人間はわずか 450 年で使い切ってしまうことになるのです。

図 2 に示すように、75% のリン鉱石がモロッコ王国一国に存在し、95% が中東諸国から産出されています。このリン鉱石はカドミウム含有量が高く、ウランなどの放射性物質を含むので、ヨーロッパ諸国はこのようなリン資源に依存したくありません。そのためにリンのリサイクルに本気に取り組んでいるのです。



図中の出典： カンブリア紀の動物の絵は <http://blogs.yahoo.co.jp/aquarius1969newage/63192724.html>  
 恐竜の絵は <http://www.nikkei-science.com/page/magazine/9912/hakuaki.html>

図 1 リン鉱床形成の時代



経済埋蔵量670億トン÷年間採掘量2.2億トン=耐用年数約300年 (赤字は国別)

品質(品質の悪いリン鉱石には有害重金属や天然放射性物質が多く含まれる)や地政学上の問題を抜きにして電卓を叩いて出てくる数値(耐用年数)で議論してもあまり意味はない。

図 2 リン鉱石資源の地政学の問題 (アメリカ地質調査所、2013)

### 3. 生命の栄養素の管理

生命の栄養素は、高価では使いません。また、品質の良いものでなければなりません。リン鉱石の耐用年数が300年あるといっても、安くて品質の良いものはその一部に過ぎません。リン鉱石の採掘は、時には地下深く危険な作業となり、環境破壊につながります。また、生命の栄養素のリンの管理を怠ると、湖沼等の富栄養化が発生し、貴重な資源が汚染物質になります。生命の栄養素には適正な管理が必要になります。

ヨーロッパの考え方は、下水汚泥、家畜排せつ物、食品廃棄物、農産廃棄物などの有機物は、生命の栄養素が姿・形を変えたものに過ぎず、有機資源であって廃棄物ではないという考え方です。リン鉱石を買ってきて肥料利用して、これ以

上農地がカドミウムなどで汚染するよりも、ヨーロッパの中にある有機資源を活用し、生命の栄養素を管理する取組を行っています。

### 4. 産業の栄養素としてのリン

自動車、エレクトロニクス、太陽電池、医薬品、食品など広範な産業分野でリンを利用しています。しかし、薄く広く利用されているので、肥料利用に比べるとその重要性があまり認識されていません。

わが国はリン資源を持たないため、図3に示すように、燐安、リン肥料、リン鉱石、黄燐、一次製品など、年間23万トンのリンをすべて海外から輸入していますが、その25%を工業用に利用しています。輸入金額にすると30%になります。

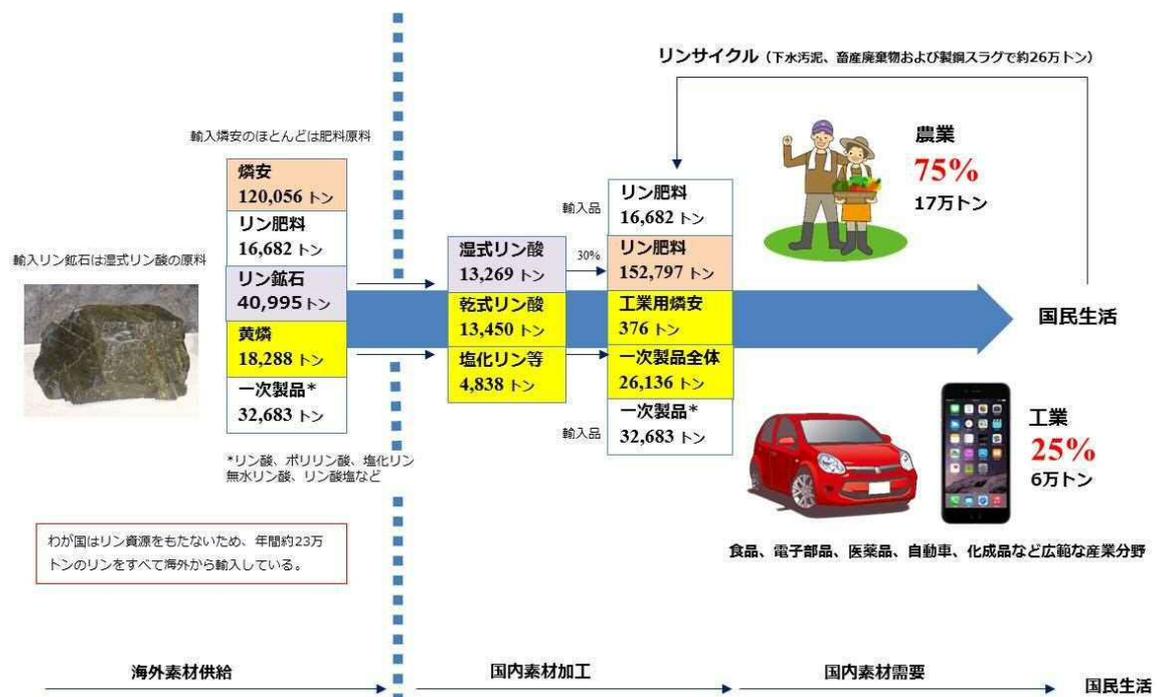


図3 リン＝肥料という短絡した考え方は変えなければならない (単位:Pトン)

### 5. Pバリューチェーン

工業用の出発原料の多くは黄燐であり(図3)、その生産国はアメリカ、中国、カザフスタン、ベトナムの4か国しかありません。黄燐1トンを生産するためには、約14,000 kWhの電力と、10トンの品質の良いリン鉱石が必要なので、どこでも黄燐が生産できるわけではなく、黄燐の生産は危機に直面しています。

わが国はすべてのリンを輸入してきたので、国内には持続可能なリンのバリューチェーン(Pバリューチェーン)が存在しません。私は、農業分野と工業分野で統合したPバリューチェーンを提案しています。国内には未利用資源(二次リン資源)として、製鋼スラグ10万トン、下水及び下水汚泥5万トン、畜産廃棄物11

万トンが合計約26万トンがあり、この量は農業で必要とするリンの量に相当します。回収技術によって二次リン資源からリンを回収して大半を農業利用すれば、リン鉱石を輸入しなくても自給できると考えます(図4)。また、その中で10%くらいを品質の良いリン酸液に変換し、電気をできるだけ使わずに黄燐(P<sub>4</sub>)に還元して工業利用し、ハイテク産業にリンを供給していきます。このようなリサイクルをベースとしたPバリューチェーンを成り立たせることを考えています。

### 6. 日本のリン回収事業

岐阜市の下水処理場では、下水汚泥焼却灰からリンをHAP(ヒドロキシアパタイト)として回収し、岐阜の大地という

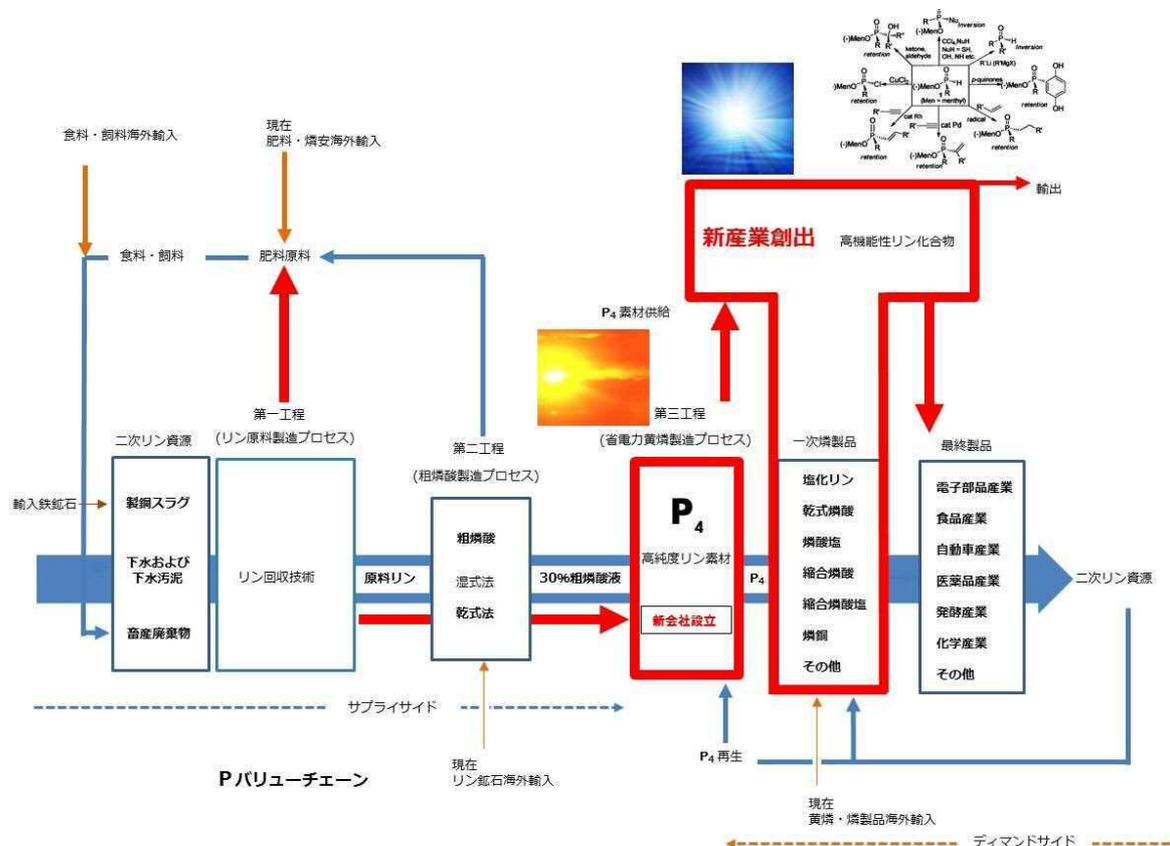


図4 シーズ/サプライ/デマンドの結集で輝く未来

名称の国産肥料で年間 300 トン販売しています。鳥取市の下水処理場では、下水汚泥焼却灰からリンを回収し、カルシウムアパタイトという白い粉で肥料利用しています。神戸市では、消化汚泥から MAP (ストラバイト) の結晶として回収して利用しています。秋田県仙北市の汚泥再生処理センターではカルシウムアパタイトとして回収しています。

宮崎県小林市では、豚ふんを 800°C で炭化し、炭の表面にリンを付着させて回収する実証試験が行われています。宮崎市バイオリサイクルでは、鶏ふんの燃焼発電をしていますが、その燃焼灰にはリンとカリが大量に含まれ、肥料利用しています。

## 7. ヨーロッパのリン回収事業

### (1) リニアール・エコノミー (直線型経済) からサーキュラー・エコノミー (循環型経済) へ

リンの回収事業は日本とヨーロッパと北米で行われていますが、ヨーロッパが一番進んでいます。ヨーロッパの考え方は、今までのリニアール・エコノミー (直線型経済) による経済発展をやめて、サーキュラー・エコノミー (循環型経済) に転換して行こうとするものです。経済成長を資源、エネルギー及び環境への負荷の高いイノベーション (技術革新) に頼るのではなく、エネルギー及び環境の制約から解除された産業を育てることによって、ヨーロッパは人間らしい社会を作っていくことに踏み出しています。

家畜排せつ物、下水汚泥、食品廃棄物、農産廃棄物などから生産した肥料をイノ

ベータイブ・ファーターライザー (革新的肥料) と名づけ、積極的に利用しようとしています。このように廃棄物であったものを、資源に変えていくためには、社会経済システムの変革が求められます。

### (2) 欧州肥料法の改正

EU では 2014 年にリン鉱石を 20 の戦略物質の一つに指定し、廃棄物から生産した革新的肥料を旧来の鉱物系の肥料と対等または優遇してヨーロッパの市場で取り扱えるように、EU の肥料法の大改正に取り組んでいます。この肥料法改正は 2018 年に施行される予定です。

これまでの肥料法はリニアール・エコノミーのもとで生産された肥料を対象としているため、有機廃棄物など二次リン資源から回収された革新的肥料には不利となっていました。革新的肥料が従来の肥料と対等に競うことができる平等な市場を生み出すためには、サーキュラー・エコノミーに基づいた社会秩序に変えなければなりません。

### (3) EU 各国のリン回収事業

ドイツでは、下水汚泥の農地還元を全面的に禁止する法案を作成しています。全面禁止したうえで、下水汚泥に含まれるリンの 50% を回収することを法案に入れています。

スイスでは、下水汚泥の農地還元を禁止し、2015 年の 12 月には焼却した下水汚泥と食肉処理場排水汚泥からのリンの回収を義務付けました。

オランダでは、産官学でリン回収設備導入をめぐる合意書を結んでいます。新しい排水処理施設にはリンの回収設備を

入れることを義務付けています。2013 年の 12 月には世界最大規模のリン回収設備

がアムステルダム市の下水処理場に導入されました。



図 5 「生命の栄養素」を管理することは多くの問題の解決につながる可能性がある！

## 8. おわりに ～地球規模での生命の栄養素の管理～

生命の栄養素は地球規模で流れています。この生命の栄養素を地球規模で管理することを人類は一度も考えてきませんでした。地球規模で管理することによって、食料生産、資源保護、環境保全、そして産業と経済など多くの問題の解決につながることになり(図 5)、ヨーロッパを中心にそのような取り組みが行われています。

生命の存在の 3 つの要件として、(1) 安定した気候、(2) 生命の多様性、(3)

栄養素の循環の管理があります。安定した気候と生命の多様性については、すでに地球規模の取り組みが行われています。これからは、地球規模で栄養素の循環をどのように管理するか、それが人類の新たな課題となってくると思います。

栄養素の循環は、ローカルに解決しても全体的な大きな解決にはなりません。農業と工業の広域的ビジョンのもとで、地球規模で管理する視点を持つことが重要です。畜産環境の問題もこのような大きな視点で考えていただきたいと思います。