

炭素と窒素の次はリン

－ 国内リン資源利用の最新動向と供給リスクのデータマイニング －



図 1 わが国はリン製品の多くを中国からの輸入に依存しており年々その供給リスクが高まっている。

1. 国内リン資源利用の最新動向

2022 年 5 月 11 日、政府は「経済安全保障推進法」[1]を成立させ、12 月 20 日には「経済安全保障の確保の推進に関する政令」[2]を定めて、11 品目の特定重要物資の指定を行った。また年末の 12 月 27 日には、内閣に設けられた「食料安定供給・農林水産業基盤強化本部」より、「食料安全保障強化政策大綱」[3]が発表された。いずれも国内リン資源の循環利用に深く関わる政策であり、2022 年は「わが国の持続的なリン利用への取組」が大きな推進力を得る 1 年となった。

上記の「経済安全保障の確保の推進に関する政令」により、特定重要物資の一つに肥料が取り上げられたことは画期的なことであるが、内閣府の「経済安全保障法制に関する有識者会議」では「国内資源の活用促進には広域流通体制の構築などが必要であり、輸入肥料原料の相当程度を直ちに代替することは困難」との指摘もなされている[4]。一方、わが国は 2013 年に終焉したリン安の国内生産に続いて、昨年にはとうとう肥料用リン酸の国内生産まで止めてしまった。わが国はもはや、食料ばかりかリン肥料も十分に生産できない国になってきている。肥料原料となるリン鉱石の輸入量は年々減り続け、2020 年にはリン鉱石の輸入量(トン-P/年)は、黄リンの輸入量よりも少なくなってしまった。いまや、世界で 1 億人以上の人口をもつ国の中で、穀物自給率が 50%以下でかつリン肥料の国内生産の割合が 50%程

度しかない国は日本だけになってしまった。この様な国において、国内資源を肥料に活用するために、わざわざ広域流通体制を構築することなど、果たしてあり得るのだろうか？

一方、昨年末に出された「食料安全保障強化政策大綱」には、「2030年までに、堆肥・下水汚泥資源の使用量を倍増し、肥料の使用量(リンベース)に占める国内資源の利用割合を40%まで拡大(2021年は25%)する」との意欲的な目標が示されている[3]。2021年の国内資源の利用割合を25%とする根拠が不明なことはともかくとして、2030年までに国内資源の利用割合を、例えば堆肥の利用によって40%まで拡大しようとするれば、家畜ふん尿の国内発生量の約70%を代替肥料に利用できなければならない。下水汚泥も含め国内有機性資源の活用に必要な広域流通体制が構築されていない中で、この意欲的な目標を実現することは至難の業であろうが、この構想が「絵に描いた餅」にならないことを心から願いたい。

広域流通体制の不備を考えれば、国内有機性資源(家畜ふん尿や下水汚泥)の活用は、地産地消が基本とならざるをえない。国土交通省は令和4年度補正予算による下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)[5]で、久しぶりに下水汚泥からリンを回収する実証事業の公募を行った。下水汚泥からのリン回収の最大の課題はコストの低減であるが、鋭意努力してコストを削減しリンを回収しても、リン安や肥料用リン酸の生産も止めてしまった国内で、果たして肥料原料として受け入れるところがあるのだろうか。また、大都市の下水処理場では汚泥の多くは焼却処分されており、近隣に農地が少ないこともあって、コンポスト(堆肥)利用に転換することも難しい。国内資源の有効活用を促進するには、肥料利用だけを考えるのではなく、より付加価値の高い工業用のリン製品へアップサイクルする事業も合わせて考えることが[6]、事業の採算性を良くし結果的に肥料利用を促進することになることをよく理解すべきであろう。いずれにせよ、その場凌ぎでローカルな最適解を安易に求めるのではなく、国全体をよく俯瞰して、総合的かつ根本的な解決策を探求すべきであろう。

「経済安全保障の確保の推進に関する政令」では、特定重要物資の一つに半導体が指定されており[2]、黄リンとその誘導品などの原料の海外依存が供給リスクとして指摘されている[4]。黄リンとその誘導品の供給リスクの低減には、黄リンの国内生産の復活が望まれるところであるが、すでに黄リン生産の復活に踏み出した欧州とは異なり、わが国ではこれまで黄リンの国内生産を復活させるために必要な技術の開発には、ほとんど投資がなされていない[7]。このため国内生産の復活を可能とする革新的な基盤技術は、まだほとんど開発が行われておらず、黄リンの国内生産はすぐ実現できるような事業では決していない。いまや世界最大の黄リン輸出国となったベトナムでさえも、最初の黄リン製造プラントが稼働したのは、1980年に投資を始めてから実に20年後の1999年ことである[8]。

世界の黄リン生産は、未だに19世紀に確立された古い技術(電気抵抗溶融炉法)で行われている[7]。この時代遅れの技術を使う世界の黄リン生産は、いま厳しい資源、環境およびエネルギーの制約を受けて存続の危機すら取り沙汰されている。現在、マレーシアでも黄リン

生産を目的とする事業が進捗中であるが[9]、その基本技術は従来の電気抵抗溶融炉法そのものであり、これではたとえ事業が首尾よく開始されても、その製造施設は時代遅れの産物になりかねない。マレーシアで計画中の黄リン生産能力は年間 4.8 万トンほどであり、現在の世界の黄リン生産量(既存の生産能力の約半分)が約 100 万トンであることを考えると、この事業が世界の黄リンの需給動向を大きく左右するとは考え難い。

電気抵抗溶融炉法が時代遅れである理由には[7]、①原料となる高品位リン鉱石の枯渇が進行していること、②リン鉱石には天然放射性物質や有害重金属類が含まれており、製造工場の操業に伴う環境管理が難しいこと、③固体原料は高温で溶融してリン酸と炭素が接触できるようにする必要があり、そのために膨大な電力が消費されること、および④製造工程から出る有害物質を含んだ固体廃棄物を処理しなければならないことなどがある。わが国で黄リンを生産するためには、リン鉱石の代わりに回収リン酸などの液体原料を使うなどして、省エネ・低炭素で製造できる先進国型の製造技術の開発が必要である[7]。

2. 供給リスクを見える化するデータマイニング

2022 年のわが国のリン製品(32 品目)の輸入金額の合計は、2008 年に中国四川省大地震の影響で世界的にリン製品の価格が高騰した「リンショック」以来の高額となった。財務省貿易統計[10]には、まだ 2022 年 12 月のデータが出ていないが、1-11 月期でリン製品 32 品目の輸入合計金額は約 1,350 億円となっており、年額としては 1,500 億円の台に迫るものと思われる。2021 年との前年比では、約 2 倍の伸びとなっている。財務省貿易統計 2022 年の概況品(417 品目)の輸入累計総額は前年比約 1.27 倍の伸びとなっており、これと較べてもリン製品 32 品目の前年比約 2 倍はかなり大きい。リン製品の中では、黄リンとその誘導品のオキシ塩化リンや亜リン酸エステルおよび肥料原料のリン安だけが前年比 2 倍を超えている。2008 年のリンショック時との比較でも、黄リンと黄リン誘導品の還元リン酸塩(次亜リン酸ナトリウムなど)とリン安の輸入金額が増え、リン鉱石の輸入金額が大きく減っている。

昨年の日本の黄リン輸入量は 2021 年とほぼ同じで、ベトナムへの輸入一辺倒にも変わりはない。2022 年の黄リン輸入金額の増加は黄リン価格の高騰によるものであり、事実リン製品 32 品目の中でも、黄リンの価格だけが前年度比 2.5 倍を超えている。ベトナムから輸入される黄リン価格の月変化を見ると、2021 年 10 月頃から価格が急上昇しており、2022 年 7 月には 2008 年リンショックの時に到達したトン当たり約 100 万円近くまで高騰したことがわかる。2021 年 10 月頃からのベトナム品の黄リン価格の高騰は、2021 年 5 月以降に中国国内の黄リン価格が高騰し、急遽ベトナムへ黄リンを買いに動いたことが影響している。

黄リン同様に供給リスクが懸念される半導体原料の金属シリコン、ヘリウム、希ガス、蛍石の輸入金額と比べると、2022 年に黄リンの輸入のために支払われた金額(約 237 億円)は、最も輸入金額が多かった金属シリコンの 252 億円に近い。2022 年には希ガス(アルゴ

ン、ヘリウム以外)の輸入金額も高騰したが、これには明らかにロシアによるウクライナ侵攻の影響が表れている。

わが国のリン製品輸入は、世界的に見ても中国への依存度が著しく高い。2021年日本のリン製品輸入における中国への依存率は約70%(金額ベース)であり、世界主要国の中で最大である。ちなみに、2021年の財務省貿易統計の概況品417品目全体の中国への輸入依存率は24%であり、リン製品の中国依存率の高さが際立っている。2022年には、日本のリン製品輸入における中国への依存率は2021年の70%から51%へと減少しているが、これはわが国の主体的な努力の結果と言うよりも、中国がリン安の輸出を規制して日本へのリン安の輸出量が減らされてしまっただけのことである。

2017年に世界で年間約100万トン生産された黄リンは、その約15%しか国際市場に供給されておらず、しかもその約4割は欧州に向かって輸出されていた。一方米国からの輸出の大半は米国唯一の黄リン製造会社であるモンサント社の子会社があるブラジル向けとなっていて、わが国は残り約6.4万トンのアジア向けの黄リンを、韓国と台湾およびインドと奪い合う構図となっていた。2017年以降、世界の黄リン市場では、ベトナムからの輸出の増加が目立つようになり、2021年の世界の黄リンの流れは2017年とはかなり様変わりをしている。2021年には世界の黄リン輸出量の約半分はアジア向けとなり、2017年と較べて日本のほか韓国、台湾やインドなども黄リンの輸入量を増やしており、新たにマレーシアが主要な黄リン輸入国の一つとして登場している。黄リンを輸入しているアジア11カ国は、エレクトロニクス関係の製品の輸出額が多く、アジアについて黄リンの輸入量が多い西欧は医薬品の輸出額が多い。アジアにおける黄リン輸入量の増加は、この地域における半導体や集積回路を含むエレクトロニクス産業の発展と明らかに関係しているようである。

今後の世界の黄リンの需給動向を考える場合、まず第一に懸念されるのは、ロシアによるウクライナ侵攻の影響であろう。2021年までカザフスタンの黄リン輸出量の約8割は鉄道により欧州へ送られていたが、この鉄道はウクライナの首都キーウを經由して欧州と繋がっていた。国連貿易統計[11]はまだ2022年の数値を公表していないが、ロシアのウクライナ侵攻により、2022年のカザフスタンからの黄リンの輸出はすでに大きく影響を受けている可能性があり、今後もしばらくはその影響は続くものと考えられる。米国は2021年も年間約1万トンの黄リンを輸出しているが、その約80%はモンサント社がブラジルの子会社で遺伝子組換え作物用の除草剤(Roundup)を生産するための「移動」である。米国は2002年以降、輸出量を上回る量の黄リンをベトナムとカザフスタンから輸入しており、今後も米国からの黄リン輸出に期待することはできない。

中国は世界最大の黄リンの生産国であるが、すでに国内の高品位リン鉱石の枯渇が進行しており、黄リンも国の厳しい環境およびエネルギー政策のもとで生産量が頭打ちになっている。2020年以降、中国国内でのリン製品の価格は高止まりしており、とくに2021年に

降はEV車載用電池や太陽光発電の定置型蓄電池の普及により、正極材のリン酸鉄リチウム(LFP)の価格が高騰している。前にも述べたように、2021年には中国国内の黄リン価格が異常なほど高騰し、急遽ベトナムから黄リンを輸入するという事態が発生しており、今後中国からの黄リンの輸出は益々困難になると思われる。ベトナムの黄リン生産量も年々頭打ちの傾向にある一方で、中国と同様に国内リン産業の成長により、黄リンの国内消費量が増えつつある。これまでの様なベトナム一辺倒の黄リン輸入に頼ることはリスクが大きい。

わが国が直面している黄リンの供給リスクを、「輸入占有度」と「輸入競合度」という2つの指標で評価してみた(図2)。「輸入占有度」は、わが国の輸入金額が世界の輸入総金額に占める割合を、輸入品目ごとに%で示した数値であり、この数値が大きいほど他国を押しつけてその輸入量を確保する必要がある、需給状況の変化により多くの注意を払う必要がある。もう一つの指標は「輸入競合度」で、対象品目を輸入している国の数を輸出国の数で割った数値で、輸出国の数に較べて輸入国の数が多いほど、その品目を輸入する国どうしの競争が激化しやすいと考えられる。

日本の輸入占有度 = 輸入割合%

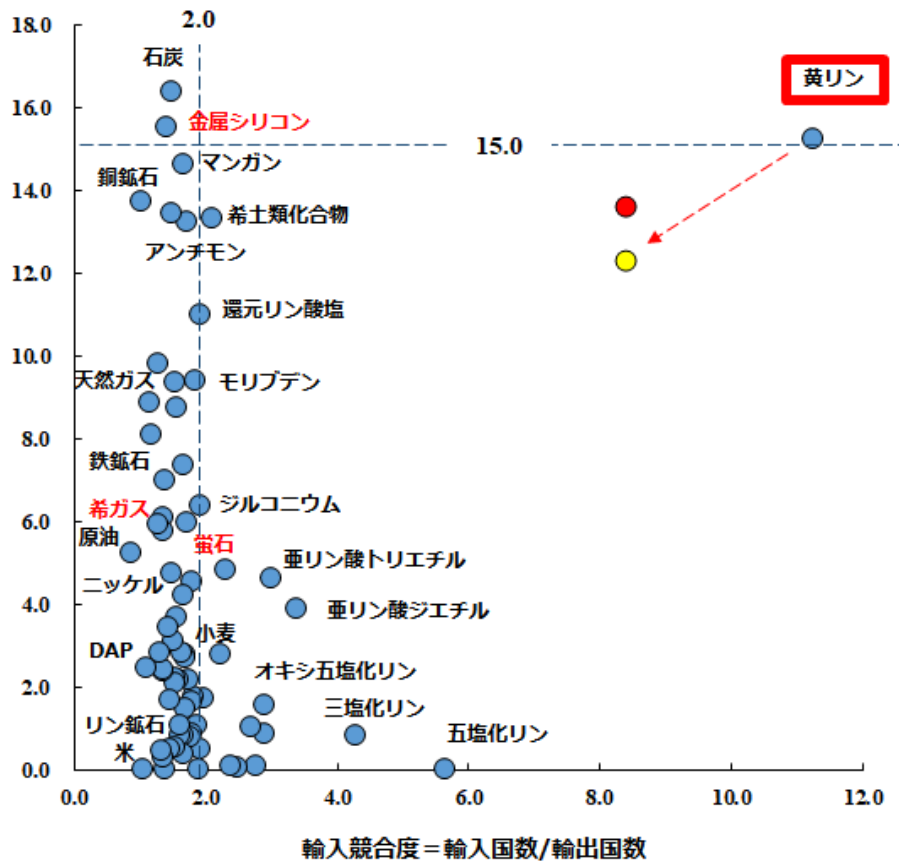


図2 輸入占有度と輸入競合度でみた約70品目の供給リスクの比較

赤と黄色の丸は、マレーシアから黄リンが2万トンまたは4万トンが輸出された場合の効果を示す。

図2に示した結果を見ると、黄リンの「輸入競合度」が他の品目と較べて異常に高いことが分かる。黄リンの場合は輸入国の数は45もあるが、輸出国は米国と中国を含めても4か国しかない。今回調べた70余りの品目において、輸出国の数が一桁しかないのは、黄リンとその誘導品である五塩化リンと亜リン酸エステルぐらいであった。ほとんどの品目の輸入競合度は2.0以下であり、輸入国の数が輸出国の数の2倍以内であったが、黄リンと黄リン誘導品の多くは2.0を越えていた。黄リンとその誘導品は、輸入国の数に対して輸出国の数が少なく、世界市場において需給バランスが崩れた時に獲得競争が激化しやすい。一方、わが国の輸入占有度が15%を越えている品目は、調べた70余りの品目の中では、金属シリコン、石炭と黄リンのみであった。石炭は脱炭素化への動きの中で、いずれわが国の輸入占有度は減少するものと思われるが、金属シリコンと黄リンは半導体などの製造に必要であり、現状レベルの輸入量を確保し続けるだけでも容易なことではないように思われる。以上の分析結果から判断して、わが国の黄リンの供給リスクは他の品目に較べて異常に高いように思われる。ちなみに、マレーシアが将来年間2万トンまたは4万トンの黄リンを国際市場に供給した場合でも、図2に示すように日本の黄リンの供給リスクはあまり大きく変わらないようである。以上、わが国の国内リン資源の利用をめぐる最新動向と、データマイニングによる供給リスクの見える化について述べた。日本がリンの供給リスクを低減するためには、やはり先進国型の黄リン製造技術を確立する技術イノベーションに取り組むことが、今求められている最も重要な課題と思われる。

参考文献

- [1] 内閣府、経済施策を一体的に講ずることによる安全保障の確保の推進に関する法律(経済安全保障推進法) https://www.cao.go.jp/keizai_anzen_hosho/index.html.
- [2] 内閣府、経済施策を一体的に講ずることによる安全保障の確保の推進に関する法律施行令 https://www.cao.go.jp/keizai_anzen_hosho/doc/shikourei.pdf.
- [3] 内閣、食料安定供給・農林水産業基盤強化本部、食料安全保障強化政策大綱 <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/attach/pdf/anteikyokyukiban-4.pdf>.
- [4] 内閣府、経済安全保障法制に関する有識者会議 https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/keizai_anzen_hosyohousei/4index.html.
- [5] 国土交通省、令和4年度補正予算による下水道革新的技術実証事業の公募 https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000794.html.
- [6] 一般社団法人リン循環産業振興機構 2020年度報告書 <http://www.pido.or.jp/>.
- [7] 一般社団法人リン循環産業振興機構 2021年度報告書 <http://www.pido.or.jp/>.
- [8] Triển vọng sản xuất phốtpho vàng tại Việt Nam (Prospects for yellow phosphorus production in Viet Nam) <https://pacvietnam.vn/thi-cong-lap-dat-thiet-bi-nuoc/>.
- [9] Cahya Mata Sarawak Firing Its Phosphorus Plant And Steps Up ESG Efforts. <https://www.businesstoday.com.my/2022/07/27/cahya-mata-sarawak-firing-its-phosphorus-plant-and-steps-up-esg-efforts/>.
- [10] 財務省貿易統計 <https://www.customs.go.jp/toukei/search/futsu1.htm>.
- [11] UN Comtrade Database <https://comtrade.un.org/Data/>.

執筆者 大竹久夫、一般社団法人リン循環産業振興機構理事長

連絡先 機構事務局 jimu@pido.or.jp