

リンサプライチェーン分析－リン資源制約の実態とリスク－

リン循環産業振興機構・大竹 久夫

1) はじめに

昨年、新型コロナの感染拡大が始まってまもなく、国の方から海外に依存したサプライチェーンの改革が急務とのことで、リンについて問い合わせがありました。世界のリンサプライチェーンについては、私にもよく分からないところが多々あり、会員の企業さん何社かにお尋ねを致しました。しかし、結局のところ全体像はよくわからず、自分で調べるしかないという結論に至りました。一般に、サプライチェーン分析は、事業の企画、立案や評価の信頼性を高めるなどの目的で行われますが、分析をしてその結果を解釈するだけではあまり意味がありません。分析で得られた結果を、いかに事業に反映させていくかが肝要です。

ところで、分析を行うためにはまずデータベースが必要となりますが、リンのサプライチェーン分析にそのまま使えるデータベースはありません。まずはデータベースの構築から始めなければなりません。もっとも、必要なデータは時間と労力さえ惜しまなければ、お金をかけなくても国連商品貿易統計(UN Comtrade)や国連食糧農業機構(UN FAO)などの国際機関や日本の財務省貿易統計などのサイトから集めることができます。今回、国の新型コロナ感染拡大対策に伴う活動自粛の要請などにより生まれた時間を有効利用して、リンの生産、輸出入および消費に関する膨大なデータを網羅的に収集し、リンデータベースを構築しました。この中には、世界約160の国を対象に約60のリン関連項目について2017年の数値をとりまとめたものや、約70の項目について世界と日本の1998年以降の経年変化をまとめたものがあります。

2) 世界のリン市場

国連商品貿易統計によりますと、2017年における世界の総輸出額は約17.4兆米ドルあったようです。農業生産物がその約1/10の1.4兆米ドル、リン肥料がさらにその約1.0%の150億米ドルあり、肥料以外のリン製品(リン鉱石を含む)の総輸出額は、それよりすこし少ない約100億米ドル(日本円で約1兆円程度)でした。リン鉱石やリン肥料を含めたリン製品の輸出総額は約250億米ドルで、これは金属系素材のニッケルや亜鉛と同程度の規模であり、鉛やスズよりもかなり大きいようです。リンは単体(黄リン)の生産量が金属系の素材に比べて非常に少なく、今後製造方法や応用分野を開拓する余地が大きいようです。

次頁の図1は、日本を含む世界のリン消費大国のリン市場における占有率(%)を示したものです。世界のリン消費大国には、年間消費量が大きい順に、中国、インド、ブラジル、米国やモロッコなどがあり、日本も世界第16位のリン消費大国です。図1で赤色で示した日本が大きな市場占有率をもつのは、黄リン及びその製品と穀物の輸入市場だけで、リン鉱石や肥料の輸入では日本の市場占有率は余り大きくありません。

2)リン鉱石市場の現状と動向

世界160の国をリン鉱石の生産国(国数=23)とそれ以外の国の二つに分けて世界のリン鉱石市場を見てみますと、リン鉱石の生産と輸出はもちろん23の生産国に限られますが、リン鉱石の総輸入量の約半分はリン鉱石の生産国によって輸入されていることがわかりました。リン酸(ポリリン酸を含む)についても同様で、世界市場におけるリン酸の約6割はリン鉱石生産国が輸入していました。いったいどうしてこんな結果になるのでしょうか？

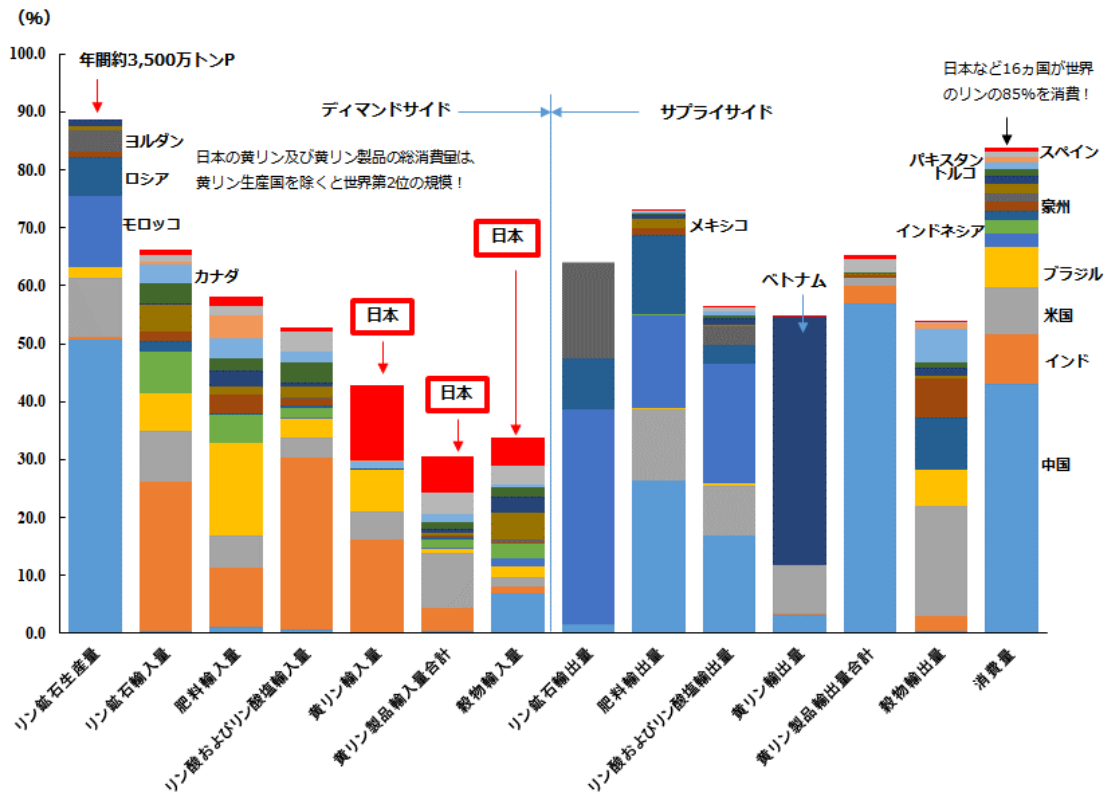


図1 世界のリン市場の全体像と日本の位置(占有率). リン消費量は生産量-輸出量+輸入量.

実は、23のリン鉱石生産国も決して一枚岩ではありません。オーストラリア、ブラジル、インド、メキシコおよび米国はほぼ完全なリン鉱石輸入国(輸入するが輸出しない国)であり、完全な輸出国(輸出するが輸入しない国)はモロッコやエジプトなど8か国ありますが、その中でもリン鉱石の輸出率(輸出量÷生産量×100)が約80%以上ある国は、アルジェリア、エジプト、ペルー及びトーゴの4か国しかありません。リン鉱石生産国のGDPとリン鉱石輸出率との関係を調べてみますと、GDPが1兆米ドルを越えた国は、ほとんどリン鉱石を輸出していないことが分かりました。要するに、リン鉱石生産国の多くは経済大国であり、自国の資源を売る必要はなく、むしろ人口が多いため輸入しないとリンが足りない状態にあるようです。この結果は、リン鉱石の経済埋蔵量や可採年数といった「どんぶり勘定」でリンの問題を議論することの危うさを、改めて示唆しているように思われます。

一方、過去30年間の世界のリン鉱石の生産量の変化を見ても、中国を除く世界のリン鉱石の生産量は過去30年間ほとんど増加しておらず、むしろ減ってきてきていることがわかりました。もし中国が今後、米国の様にリン鉱石の輸出国から輸入国に転落するようなことになれば、世界のリン市場が極めて大きな影響を受けることは明らかです。とくに日本は、多くのリン製品を中国に頼っていますので、もし今後中国がリン鉱石に加えてリン製品の輸出まで制限するようなことになれば、日本も大きな影響を受けることは避けられません。

リン鉱石についての話をまとめますと、①リン鉱石生産国には経済大国が多い、②経済的に豊かになるとリン鉱石を輸出しなくなる傾向がある、③経済的に豊かな生産国はむしろリン鉱石を輸入している、④日本など非生産国が輸入できるのは世界のリン鉱石総生産量の約5%しかない、⑤中国の生産及び輸出量の変化は世界のリン需給関係に大きく影響すると言えます。今後、リン鉱石資源を持たない日本がリン鉱石の供給リスクに対処するためには、国内にある地上リン資源として製鋼スラグの活用を促進すべきでしょう。米国は今でも

世界第二位のリン鉱石生産国ですが、国内で採掘されるリン鉱石の P_2O_5 含有率はすでに10%を切っており、これを選鉱して30%付近にまで高めて市場に出しています。 P_2O_5 が10%と言いますと、リン含有率で4-5%程度ですから、脱リンスラグとそれほど大きくは違いません。米国と同様に中国でもリン鉱石の品質低下は目立ってきており、今後世界は低品位のリン鉱石を有効利用する時代に入りますので、日本も国内で生産される製鋼スラグを地上リン資源として積極的に活用すべきです。

4) 黄リンのサプライチェーン

黄リンは未だに19世紀の技術で生産されており、世界の黄リン生産は持続可能性の面から見て、いま存続の危機を迎えています。一方、素材としてのリンのリサイクルには黄リンへの再生プロセスが不可欠であり、黄リンを製造できない日本には真の意味でのリンのリサイクル技術(アップサイクル技術)は存在していません。リン鉱石の場合と違って、黄リンの生産国が黄リン及びその製品を輸入することは余りありませんが、黄リンの輸出率は世界全体で約17%と低く、世界市場に出てくる黄リンの量は年間約18万トンしかありません。

現在、黄リンは世界でも中国、米国、カザフスタン及びベトナムの僅か4カ国でしか生産されていません。オランダは2003年までカザフスタンよりも多くの黄リンを輸出していましたが、その後カザフスタンによるダンピング攻撃を受けて、2012年に製造会社が倒産し世界市場から姿を消しました。一方、2008年のリンショックまで多くの黄リンを輸出していた中国も、国内の環境規制の強化等により減産となり、2018年までに事実上輸出を取りやめています。米国はいまも年間約1.5万トンの黄リンを輸出していますが、その7割以上は、米国モンサント社がブラジルにもつ子会社で、遺伝子組換え作物の栽培に使う除草剤ラウンドアップを製造するために輸出しています。このため、現在黄リンはカザフスタンとベトナムが主な輸出国ですが、カザフスタンの黄リン輸出のほとんどは欧州向けであり、ベトナムは原料の高品位リン鉱石が少なく、中国などからの輸入に頼っている状況です。

このため世界の黄リンの流れを見ますと、世界市場に出てくる黄リンの約半分は欧州へ流れており、日本は北南米向けの分を除いた残り約5万トンを、インド、韓国、台湾などと奪い合うという構図が見えてきます。とくに、日本の黄リン輸入におけるベトナムへの依存率は年々高くなっていますが、ベトナムのリン鉱石の可採年数は残りわずか5年となっており、ベトナムがいつまで黄リンを日本へ輸出できるか懸念されます。

2008年以前には、日本は中国からかなり割安で黄リンを輸入することができましたが、リンショックを経て中国の黄リン

価格は生産国の中でも最も高くなりました。現在、黄リンは明らかに売り手市場となっており、日本はカザフスタンよりも割高なベトナムから買い続けている状況のようです。売り手市場では、日本は2002年に米国のモンサント社に切り捨てられた苦い経験があり(図2)、黄リンのサプライチェーンには大きなリスクがあります。

黄リンは電気自動車のリチウム二次電池の電解液や全固体電池の原料として必要です。N型半

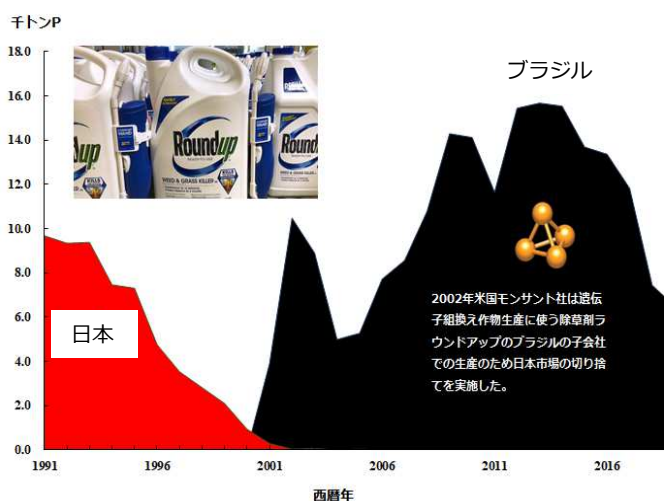


図2 米国モンサント社による日本市場の切り捨て

半導体製造のためのリンドーピングや液晶パネル製造過程でのエッチングにも、黄リンから製造される高純度のリン素材が必要です。医薬品の分野ではC型肝炎の特効薬をはじめ、今全人類の期待を集める新型コロナウイルスのRNAワクチンやPCR試験薬の主要成分としても重要です。また、黄リンの市場調査では見落されがちですが、黄リンの供給量そのものが限られていることで、黒リンなどの新素材開発に必要な技術イノベーションが妨げられていることも、重要な問題として指摘しておきたいと思います。

黄リンのサプライチェーンの実態とリスクについてまとめますと、①黄リンの生産国は世界でも4か国しかなく、しかも生産量の約17%しか輸出されていない、②世界の総輸出量の約半分は欧州に向かっており、日本は北南米向けを除いた残り約5万トンを韓国、台湾やインドなどと奪い合う構図となっている、③日本の黄リン輸入はベトナムにほぼ全面依存していることが重要なポイントとして指摘されます。黄リンのサプライチェーン問題を根本的に解決するためには、世界にない画期的な技術イノベーションに挑む必要があります。具体的には、これまで何度も話をしてきたように、①原料を国内で供給が可能な回収リンとすることにより、原料供給の問題を克服するとともに環境への負荷を減らす、②固体原料ではなく液体原料を用いることで、リン酸の還元に必要なエネルギーを削減する、③発生する一酸化炭素や水素を再利用したり、還元剤に炭素を用いないことにより、低炭素型または無炭素型の製造技術を開発する必要があります。

前にも述べましたが、素材としてのリンのリサイクルには黄リンへの再生プロセスが不可欠であり、その意味では日本には真の意味でのリンリサイクル(アップサイクル)技術は存在していません。リンのサプライチェーンの改革には、日本において持続可能なリンバリューチェーンを構築する必要がありますが、それは黄リン製造技術のイノベーションを中核として、リンのない日本においてリンの「自給」体制を実現する道であり、これまで機構が提唱してきた「リンミラクルプロジェクト(Phosphorus Multi-Sectoral Innovation for Recovery and Recycle)」の実現を目指すことに他ならないと考えています。

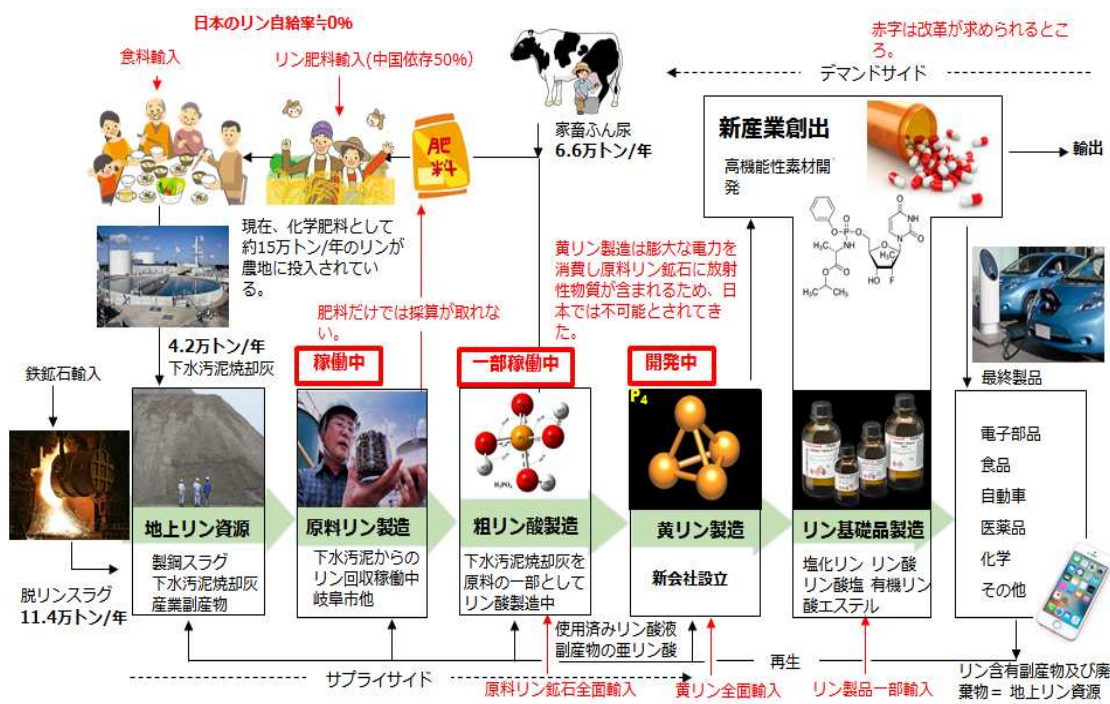


図3 持続可能なリン・バリューチェーンの構築