



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

資源利用に関わるサプライチェーンリスク最小化に向けたリソースロジスティクス研究

Resource Logistics Research aiming to Minimize Supply Chain Risks related to Resource Use

松八重一代

Kazuyo Matsubae

東北大学 大学院工学研究科
金属フロンティア工学専攻
准教授

筆者が所属する材料・資源循環学分野では、ライフサイクル分析 (LCA)、マテリアルフロー分析 (MFA) を用いた産業エコロジーの視点で、経済活動に関わる資源利用、環境負荷排出削減に向けたシステム解析を行っている。中でも鉄鋼生産活動に関わる副産物に随伴する未利用資源の活用に向けたシステム提案や、廃自動車 (End of Life Vehicle: ELV) 処理、資源化に関わる稀少資源散逸を押さえるためのスクラップソーティングの提案などに取り組んでいる。最近ではLCA、MFAで得られた知見をいかに科学技術イノベーション政策に生かすか、という視点でリソースロジスティクスと資源利用のサプライチェーンリスク解析もすすめている。ここで、その一端を紹介すると共に、今後の展望を述べたい。

1 スラグ中の未利用リンの活用に関する研究

リンは農業用栄養塩の一つとして重要な位置を占め、世界的にはその需要の大半は肥料用途である。世界的な人口増大と燃料用作物生産増大を背景として、農業用資源の重要性は高まってきている¹⁾。経済圏へのリンの投入は主にリン鉱石を起点としており、各種リン酸は肥料をはじめ、めっき液、表面処理剤、食品添加物等様々な用途に用いられている。リン鉱石の採掘地域は世界的にも限られており、中国、アメリカ、モロッコ、ロシア、チュニジアの上位5カ国で75%を占めており²⁾、我が国ではその一次資源の全量を輸入に依存している^{3,4)}。筆者らはこれまでに我が国におけるリンのマテリアルフロー分析を行い、肥料用途としてのリンのフローのみならず、廃棄物や副産物中に含まれる未利用リン資源の量を把握し、将来的にこれらを回収、再資源化を行う際にどのよ

うな課題があるかを検討してきた^{3,5,6)}。マテリアルフロー解析より、鉄鋼スラグ中に含まれるリンの量は、104 ktとリン鉱石の輸入量に匹敵する量であり、我が国におけるリン資源戦略を考える上で鉄鋼業は重要であることが定量的に示された。アジアにおいても、中国、インドのような鉄鋼生産大国であり、かつ食糧需要の増大が見込まれる国において、今後、鉄鋼スラグがリンの循環資源として大きなポテンシャルを持つことも明らかにしてきた⁶⁾。EUがリン鉱石をCritical raw materialsの一つにリストアップしたことも受け⁷⁾、リンは戦略資源化してきている。リンのリソースロジスティクスを明らかにすることで、鉄鋼業と農業、化学工業との産業間連携による我が国のリン資源戦略策定に今後も貢献していきたいと考えている。

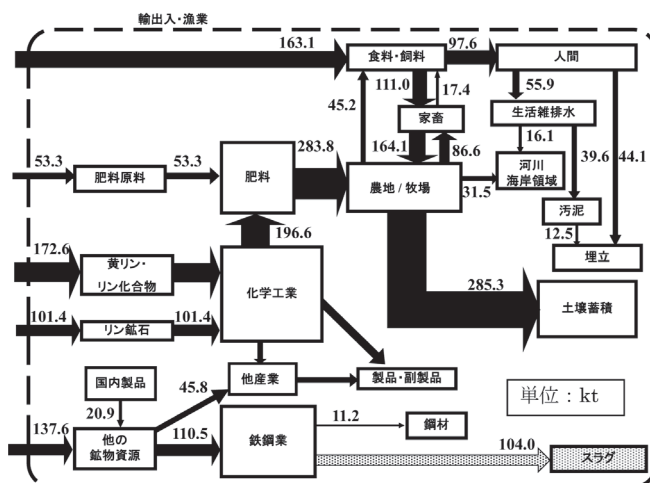


図1 我が国におけるリンのマテリアルフロー図
出典：松八重一代，久保裕也，山末英嗣，長坂徹也：環境技術，Vol.43 (2014)，No.2，pp.79-85.

2 未利用合金元素の積極活用に向けたスクラップソーティング

もう一つの研究は鉄鋼材を合金元素の運び手として見た際の、鉄鋼資源循環に関わる資源拡散・散逸を最小化する研究である。鉄鋼生産プロセスは合金元素としてマンガン、ニッケル、クロム、モリブデン、タングステン、バナジウム等の稀少資源国内需要の大半を消費している。マンガン、ニッケル、クロムをはじめとした、各種レアメタルを鉄鋼合金元素として多く含んだ特殊鋼は、二次、三次加工工程を経て自動車をはじめとして様々な製品において使用されている。しかしながらELVに目を向けると、ELVスクラップを冷鉄源として利用する実態の多くは、カープレスあるいはシュレッダー屑としての電炉投入であり、この時、廃自動車中のステンレスに含まれるクロムやニッケル、その他特殊鋼に含まれるマンガン、タングステン等のレアメタルは回収されることなくスラグに移行・拡散したり、あるいは鋼材に含まれる不純物質として蓄積したりしている^{8,9)}。

これまで筆者らはマテリアルフロー分析ならびに産業連関モデルとマテリアルフロー分析を統合したWIO-MFAモデルを用いて、鉄鋼合金の散逸・拡散を最小に押さえるためのソーティングをどのように行うべきか定量的な解析を行ってきた¹⁰⁻¹²⁾。特に自動車用鋼材に着目をした合金元素のマテリアルフロー解析では、循環資源の質を考慮した自動車リサイクルを提案した。本研究では今後も、スクラップソーティングによる鉄鋼合金元素の循環利用効率の向上に貢献し、ライフサイクル視点から見た鉄鋼材、ならびにそれらを用いる製品の環境負荷低減に貢献したいと考えている。

3 科学技術イノベーション政策とリソースロジスティクス

3番目はライフサイクル視点に基づく資源の流れの可視化と、科学技術イノベーション政策をつなぐ研究についてである。筆者は2012年10月より3年間の研究開発プロジェクトとして、独立行政法人科学技術振興機構 社会技術研究システム (JST-RISTEX) における「科学技術イノベーション政策のための科学」研究開発プログラムのもと、「リソースロジスティクスの可視化に立脚したイノベーション戦略策定支援」のプロジェクト代表を務めており、その中で以下を明らかにすることで科学技術イノベーション政策立案・実施に貢献しようとしてきた。

1. 革新技術が直接・間接に必要とする資源の流れ (リソースロジスティクス) を明らかにする。
2. 経済・環境・資源・社会・技術の視点から見た資源に関わ

るサプライチェーンリスクがライフサイクルプロセス (資源採掘・製錬・加工・組立・消費・廃棄、再資源化) のどこでどのように存在するかを可視化

3. 新たな技術の導入が1、2にどのような変化を与えた (与える) のかを検討するためのデータベースの構築
4. イノベーションが経済・社会に与えた影響の定量評価と、産業間のつながりの可視化手法の確立

「リソースロジスティクス」は造語であり「サプライチェーンを通じて直接・間接に需要される資源の流れを、生産から消費、廃棄に至るまでのライフサイクルプロセス全体で情報把握し、科学技術イノベーションに関与する資源の流れの戦略的な管理を目指」し、その可視化のためのツールとしてMFA、LCAならびにSCA (サプライチェーン分析) を用いている。

この研究成果については、現在、最終年度のとりまとめに入っているところであり、データ集積、ウェブ構築を進めている。近く解析用のプラットフォームの立ち上げを行い、鉄鋼をはじめとする素材産業がいかに革新技術実装に深く関わっているのかについても見えるようにしていきたい。

筆者は、早稲田大学大学院経済学研究科で修士・博士を修めた後、2004年2月に東北大学大学院環境科学研究科で助手として大学人としてのキャリアをスタートさせた。学部は工学部材料総合学科を兼務していたが、当然、工学のバックグラウンドは無く、初めての卒論発表会でのタイムキーパーをつとめた際、たびたび出てくる「雰囲気」「るつぽ」等の用語に戸惑ったことを今でも鮮明に思い出す。

鉄鋼生産プロセス、鋼材の合金組成等についても、まったくと言って良いほど知識が浅かったが、着任早々に環境・社会工学部会の若手フォーラム (代表：東大 醍醐市朗 助教 (当時)) に参加をさせていただき、同年代の研究者・技術者と交流を持つことができた。このフォーラムを通じて、今でも自由に相談し、共同研究を行うことができる仲間ができたことは大変幸せなことである。

2011～13年度には、「素材産業から見た自動車リサイクル」 (環境・エネルギー社会工学部会) の主査を務めさせていただいた。当該研究会では、「2. 未利用合金元素の積極活用に向けたスクラップソーティング」で触れた内容に関心を持ちつつ、鉄鋼業 (高炉・電炉)、自動車メーカー、スクラップディーラーを合金元素の循環ループでつなぐ仕組み、また素材産業が鍵を握る資源循環の高度化について様々な角度から議論を行った。現在、筆者は産業構造審議会 環境部会廃棄物・リサイクル小委員会自動車リサイクルWGに委員として参加しているが、ここでの議論を踏まえ、さらなる質の向上に向けた自動車リサイクルの仕組み作りにわずかでも貢献していきたいと思う。

筆者は2015年10月よりSustainable Minerals Institute, Univ.



図2 筆者らが企画開催したInternational Workshop on Resource Logistics and Mining Responsibilityにて(筆者は前列左から3番目)

of Queensland で一年間の在学研究を予定している。ここでは資源調達に関わる持続可能性、資源利用に関わるサプライチェーンリスクについての研究研鑽を積み、「3. 科学技術イノベーション政策とリソースロジスティクス」の研究をさらに発展させていきたいと考えている。

材料科学どころか、工学の学問背景を持たない筆者が鉄鋼技術のエキスパートの方々と一緒に研究をすすめたり、素材産業の生産プロセスに関わる環境影響評価を行ったりしつつ、自身のやるべきことが少しずつ見えるようになってきたのは、一重に周囲の暖かい支援と忍耐強い理解によるものと感じている。技術と社会をつなぐ試みは文理融合、産官学連携、Transdisciplinary research 等々、様々な言葉でくくられ、その重要性はおおいに認識されている。しかしながら文化の違い、言葉の違い、情報伝達の不完全、同床異夢、知識・情報を統括する人材の不足等々、数え切れないほどの障壁と困難がある。自分自身も研究を行う中で様々な葛藤や困難に直面することも多々あったが、困難を乗り越えた先にはすばらしい達成感とさらなる使命感も感ずることができ、それを糧に次の困難を乗り越えることができた。まだまだ修行中の身なれど、技術と社会をつなぐ架け橋(の一部品)になるべく、微力ながら貢献をする決意を新たにしつつ、本稿を締めたいと思う。

参考文献

- 1) United Nations- Global Partnership on Nutrient Management, Our Nutrient World, (2013)
- 2) US Geological Survey, USGS, http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/,

(Accessed 17.8.2010)

- 3) K.Matsubae-Yokoyama, H.Kubo, K.Nakajima and T.Nagasaka : Journal of the Industrial Ecology, 13 (2009) , 706.
- 4) E.Webeck, K.Matsubae, K.Nakajima, K.Nansai and T.Nagasaka : SOCIOTECHNICA, 11 (2014) 119.
- 5) K.Matsubae, J.Kajiyama, T.Hiraki and T.Nagasaka : Chemosphere, 84 (2011) , 767.
- 6) E.Webeck, K.Matsubae, K.Nakajima, K.Nansai and T.Nagasaka : Global Environmental Research, (2015) , In press.
- 7) European Commission, Report on Critical Raw Materials for the EU, (2014)
- 8) 松八重(横山) 一代, 中島謙一, 小野恭平, 中村慎一郎, 長坂徹也 : 鑄造工学, 80 (2008) 6, 330.
- 9) S.Nakamura, Y.Kondo, K.Matsubae, K.Nakajima, T.Tasaki and T.Nagasaka : Environ.Sci.Technol., 46 (2012) 17, 9266.
- 10) 松八重一代, 飯塚陽祐, 長村弘樹, 大野肇, 中島謙一, 長坂徹也 : 鉄と鋼, 100 (2014) 6, 794.
- 11) 松八重一代, 飯塚陽祐, 大野肇, 平木岳人, 三木貴博, 中島謙一, 長坂徹也 : 鉄と鋼, 100 (2014) 6, 788.
- 12) H.Ohno, K.Matsubae, K.Nakajima, S.Nakamura and T.Nagasaka : Journal of Industrial Ecology, 18 (2014) 2, 242.

(2015年3月31日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

東北大学 多元物質科学研究所 教授

中村 崇

松 八重先生は、早稲田大学の経済の出身であることは仲間内ではよく知られている。経済学博士を取得した方が東北大学に赴任して、同じ環境科学研究科に属するようになったので、初めは多少驚いたが、大変素晴らしい人事であったと言える。同じ研究科に属していた関係（現在は私が東北大を退職、ならびに長坂研究室が環境科学研究科から工学研究科に移動）で修士・博士の学生さんの副査などを務めることが多かった。鉄鋼協会でも同じ研究会で活動しており、松八重先生研究内容は理解しているつもりである。また、その鉄鋼協会での研究会のマネジメントもしっかりと対応していた、社会システムに興味がある私は松八重先生の応援団の一人であると勝手に思っている。ただ自称応援団は場合によって足を引っ張っていることがあるので、そのような事態とならないように注意している。

LCA解析、マテリアルフロー分析が盛んにおこなわれるようになって時間がたつので、その内容について説明する必要がなくなったが、これらの研究の本質は単に現状認識ではなく、「マテリアルを通じて次の世代をどのような世界にするか」を想像し、発信するものだと思っている。松八重先生の研究は、論文を書くためにあるのではなく、その点を見

据えているという点で大変評価できる。本校に挙げてある3つのテーマいずれもそのような視点に立って研究を進めている。リンの課題、鉄鋼における添加元素の課題いずれも社会システムも含めこれから循環型社会を構築するためには重要な課題である。さらに最新の「科学技術イノベーション政策とリソースロジスティクス」の成果に大きな期待をしている。サプライチェーンの確立は産業政策の基本であり、それをロジスティクスから“見える化”する視点は、これまでにほとんどなされてこなかった。特に静脈系では、そのロジスティクスが最も大きな障害であることは、ほとんどの人が理解しながら多くの困難のために議論されてこなかった。本年度で終了の予定であるが、情報発信型の読み応えのある報告書ができるものと確信している。システム研究は、海外の研究が進んでいると思われがちであるが、研究そのものは我が国もまったく引けを取らないレベルである。ただ、実際の動きになると多くの障害があり、部分的にEUに及ばないこともある。それを見える化し、我が国から資源のサプライチェーンを確立する方向性を打ち出すことができるように期待している。

新日鐵住金（株）技術開発本部 技術開発企画部 上席主幹

日比 政昭

今 回、図らずも応援メッセージの依頼を協会からいただき、僭越ではありますが、一言述べさせていただきます。松八重先生がこの「躍動」の中でも述べておられますが、先生は、経済学部という全く異分野から工学部での研究活動に入ってこられ、社会科学の視点、学理も入れた研究活動を行っておられます。金属素材の中での鉄鋼の優位性、リサイクルを踏まえた資源の流れなど、先生の研究対象は、鉄鋼業だけに浸かってきた者からすると直感的にその通り、論を待たない、と考えることができることも多いことも事実だろうと思います。しかし、そこに改めて学術手法を用いて、丹念にデータを集め、それらについて合理的、科学的に解釈を行い、その上でその先の発展を示すことは、結果とし

て我々の直感と変わらない場合があるかもしれませんが、データと正当な解釈に裏打ちされた論理の構築は、将来を見据えるための基盤研究として重要であると思います。足下の経済環境や技術上の課題から、直ぐには実行できない内容も時にあるわけですが、なぜそうなのか、を正當に議論することこそが学会活動として重要であると考えます。鉄鋼協会ではこのように、学際的な領域の研究を早くから取り入れ、議論の場を提供してきたと思います。鉄鋼協会がこのような先生の活動を支援することができる学会であることも誇りに思う次第です。最終的には新たな学問大系が構築されるよう、我々企業人も引き続き議論の場に参加させていただきたいと思う次第です。