【特 集：自動車リサイクルの進化】

使用済み自動車貿易から見たグローバルな資源の移動

布 施 正 暁*

【要 旨】 本稿は、中古車、中古部品、あるいは二次資源として国際的に取引されている使用済み自動車に注目する。多種多様な金属材料から構成される使用済み自動車は、極めて高い資源ポテンシャルを持つ人工鉱石と見なすことができる。リユースまたはリサイクル目的で国境を越えて取引される使用済み自動車の資源ポテンシャルを評価することは、各国の自動車リサイクルを検討する上でも重要である。本稿は、使用済み自動車貿易を通じて生じるグローバルな資源移動を概観するとともに、資源移動から見てくる自動車リサイクルの将来像について考察する。

キーワード：自動車、リサイクル、資源散逸、国際資源循環

1. は じ め に

資源管理の面から自動車を見ると、他の製品に比べると重要性を指摘することができる。まず、その単体の重量があげられる。乗用車で1 ton 近い重さをもつ。われわれの日常生活において、これほど重い製品はあまり存在しない。表1に乗用車の材料組成¹⁾を示す。表より、家庭が所有する乗用車1台から鉄720 kg、アルミニウム76 kg、銅17 kg、鉛10 kg、亜鉛5.1 kgが回収可能といえる。同じ家庭のテレビ、パソコンなどの家電製品1台1台を考えた場合、これほど大量の金属を回収することは不可能である。また、自動車には近年注目を集めているレアメタルも多く利用されている点²⁾でも重要である。エンジン、ボディに使われる特殊鋼材、冷延鋼材はニッケル、クロム、モリブデン、ニオブ、バナジウムが用いられている。自動車触媒にはパラジウム、ロジウム、白金の使用、ハイブリットカーの燃料電池にはリチウム、コバルトなどの使用があげられる。また自動車の電子制御システムを担う電子部品の特殊機能を発揮させるためにも、多くのレアメタルが使用されている。以上より、移動手段としてではなく資源として見た自動車も極めて

魅力的な存在である。したがって、使用済み自動車から効率的に資源を回収する自動車リサイクルシステムの構築は、資源の持続可能性を目指す上で重要な命題といえる。

高い資源ポテンシャルをもつ使用済み自動車は、同時に国際商品としての性格も有する。この国際商品性は自動車リサイクルシステムを考える際に重要な示唆を与える。自動車本来の価値は消費者に移動サービスを提供することにある。ある国で自動車としての価値が評価されなくとも、他の国でその価値が評価されれば、その自動車は廃棄されずに中古車としての第2のライフサイクルを始める。自動車の補修・交換部品の供給源として、中古部品が国際的に利用されることも考えられる。また、使用済み自動車の高い資源ポテンシャルから、二次資源として輸出入されることも十分に考えられる。このようなリユースあるいはリサイクルを目的とした使用済み自動車貿易は、輸出国だけでなく輸入国の自動車リサイク

表1 乗用車(1,500cc)の材料組成

材料	構成比率 (%)	重量構成 (kg)
鉄	71.0	725.2
アルミニウム	7.4	76
銅	1.6	16.8
鉛	1.0	10.1
亜鉛	0.5	5.1
その他	18.4	188
計	100.0	1021.2

原稿受付 2010.2.19

* 佛産業技術総合研究所安全科学研究部門

連絡先：〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1

E-mail: m-fuse@aist.go.jp

ル活動に直接的な影響を与える。

本稿では、使用済み自動車貿易に伴うグローバルな資源の移動について、筆者が行った研究事例を紹介する。またグローバルな資源移動から見てくる自動車リサイクルの方向性について議論する。

2. 日本からの使用済み自動車輸出に伴う資源流出

最初に、日本からの使用済み自動車の輸出に伴う資源流出の推計事例^{3,4)}を紹介する。ここで取り扱う日本から輸出される使用済み自動車は、日本で廃棄された後に海外で中古車、中古部品、あるいは二次資源として利用されるものである。貿易統計を用いて、1988年から2005年における日本からの中古車、中古部品、二次資源輸出量を推計し、資源組成を乗じて資源流出量を概算した。ベースメタルである鉄、アルミニウム、銅、鉛、亜鉛に加えて、レアメタルとしてエンジンに使用されるマンガン、ニッケル、クロム、モリブデンを対象資源とした。

資源流出量の推計結果を見る前に、そのベースとなる使用済み自動車輸出量の推計結果について概観する（図1）。使用済み自動車輸出量は、1988年の73万tonから2005年の260万tonまでに急増している結果が得られた。輸出に占める中古車、中古部品の割合が極めて高いことがわかる。主要な輸出先を見ると、中古車はロシア、

ニュージーランド、フィリピンなど、中古部品はアメリカ、インドネシア、マレーシア、二次資源は韓国、台湾、中国に多く輸出されている。このことから、中古車、中古部品、二次資源の順に、近隣国または新興国への輸出が増加する傾向が確認できる。

以上の1988年から2005年までの使用済み自動車の輸出に伴い国外に流出した資源量の集計結果を表2に示す。対象17年間に於いて、国内で廃棄された自動車のベースメタルのうち、鉄1,900万ton、アルミニウム270万ton、銅23万ton、鉛38万ton、亜鉛6.8万tonが国内で回収されずに国外に流出している結果が得られた。エンジン由来のレアメタルでは、マンガン2.2万ton、ニッケル0.43万ton、クロム3.4万ton、モリブデン0.12万tonが国外に流出している結果が得られた。

続いて2005年に注目して、資源流出量の推計結果と対応する資源の国内発生量および二次資源としての直接

表2 1988年から2005年までの資源の流出総量

	資源	流出総量 (ton)
使用済み自動車	鉄	19,000,000
	アルミニウム	2,700,000
	銅	250,000
	鉛	380,000
	亜鉛	68,000
エンジン	マンガン	22,000
	ニッケル	4,300
	クロム	34,000
	モリブデン	1,200

図1 日本からの使用済み自動車輸出量

輸出量との比較結果を表3に整理した。2005年においては、鉄190万ton、アルミニウム25万ton、銅2.4万ton、鉛2.7万ton、亜鉛0.8万ton、クロム0.32万ton、マンガン0.2万ton、ニッケル390ton、モリブデン110ton流出している結果が得られた。これらの流出量は、自動車廃棄に伴い国内で発生した各資源のうち、鉄46%、アルミニウム68%、銅27%、鉛71%、亜鉛25%、レアメタル67%の割合を占めている。二次資源として直接的に輸出した量と比較すると、アルミニウム、鉛、亜鉛、クロム、マンガンの流出量は、2.1倍から6.5倍の値となり、国全体から見ても無視できない量であることがいえる。

以上の結果は、使用済み自動車中の有用金属の多くは国内で回収されずに国外に流出していることを意味している。そこで国外に流出した資源のうち、回収が相対的に難しい銅、鉛、亜鉛、レアメタルを取り上げて、その

回収可能性について検討した。図2に対象17年間ににおける銅、鉛、亜鉛、レアメタルの流出先での蓄積量と、日本から流出先までの距離と流出先の一人あたりGDP（2005年の値を使用）の関係を図示する。このとき、流出先までの距離は日本での資源回収を想定した輸送コスト（回収コスト）、一人あたりGDPは流出先で資源回収する場合の現地の技術水準の代理指標として用いている。ただし、エンジン由来に限定されるレアメタルは、金属間での傾向が一緒になるため、合計した結果を示す。この図の見方として、流出先までの距離が短く（回収コストが低い）、一人あたりGDPが高い（流出先の技術水準が高い）場所に蓄積量が多く分布する場合、その資源の回収可能性は高いと判断する。反対の場合は資源散逸リスクが高いことになる。以上の判断基準に基づいて図を解釈すると、まず、レアメタルの回収可能性が他の

表3 2005年における資源の流出総量、国内発生量および直接輸出量

	資源	流出総量 (ton): a	発生量 (ton): b	直接輸出量 (ton): c	a/b	a/c
使用済み自動車	鉄	1,900,000	4,100,000	5,300,000	0.46	0.36
	アルミニウム	250,000	370,000	96,000	0.68	2.60
	銅	24,000	89,000	420,000	0.27	0.06
	鉛	27,000	38,000	8,900	0.71	3.03
	亜鉛	8,000	32,000	3,900	0.25	2.05
エンジン	マンガン	2,000	3,000	1,000	0.67	2.00
	ニッケル	390	590	1,100	0.66	0.35
	クロム	3,200	4,700	490	0.68	6.53
	モリブデン	110	160	90	0.69	1.22

図2 日本からの資源流出量、流出距離、流出先の一人あたりGDPの関係

金属と比較して高いといえる。続いて、鉛、銅、亜鉛の順で回収可能性が落ちていく（または資源拡散リスクが高くなる）傾向がある。ただし、回収可能性が相対的に高いレアメタルに関しても、日本からの距離が3,000 km 以上、かつ一人あたり GDP が1 万ドル未満の国が占める割合は60%を超えている。このことから、使用済み自動車中の有用金属の資源拡散リスクが高い状況にあるといえる。

3. 中古車貿易に伴うグローバルな資源の移動

日本からの使用済み自動車輸出を通じて、大量の資源が国外に流出している現状が明らかになった。ここでは、同様の現象が日本だけでなく世界についても言及できるかを検討する。そのため、各国で発生する使用済み自動車のうち、中古車として取引される貿易に注目して、その資源移動量を推計した事例^{5,6)}を紹介する。日本だけでなく世界を対象とした事例であるため、期間は2005年、車種は乗用車、資源は鉄、アルミニウム、銅、鉛、亜鉛と推計対象は限られている。

2005 年の中古車輸出量の推計結果を表4に示す。表では中古車輸出における世界上位10カ国と各国で発生した使用済み自動車（ELV）中の輸出が占める割合を与える。世界各国で取引される中古車の総数は410万台と推計された。自動車生産国である日本、ドイツ、アメリカ、韓国、フランス、イタリア、スペインが主要な中古車輸出国としてあげられる。日本、ドイツ、米国の上位3カ国の輸出量は世界貿易の6割を占めている。使用済み自動車中の輸出割合に着目すると、日本、ドイツ、韓国、南アフリカ、スイスは0.25から0.53までの比較的に高い値が得られた。このような国では使用済み自動車の多くは中古車として輸出されるため、国内での資源回収可能性は低いと考えられる。

表4 2005 年の中古車輸出量

輸出国	輸出量 (万台): a	輸出割合 (%)	ELV* (万台): b	a/b
1 日本	100	24	400	0.25
2 ドイツ	90	22	170	0.53
3 アメリカ	44	11	790	0.06
4 韓国	28	7	54	0.52
5 リトアニア	19	5	1	13.57
6 フランス	18	4	170	0.11
7 イタリア	15	4	260	0.06
8 南アフリカ	14	3	43	0.33
9 スイス	9	2	23	0.39
10 スペイン	8	2	76	0.11
その他	62	15		
計	410	100		

*: ELV は使用済み自動車の略記である

表5に輸入についての推計結果を整理した。ここでは、主要輸入国の国内市場に中古車輸入が及ぼす影響に注目する。表より、ロシア、オーストラリア、リトアニア、チェコ、カザフスタンといった資源国または新興国が主要な輸入国としてあげられる。これらの国において、国内市場（新車販売量+中古車輸入量）に対する中古車の輸入量の割合は0.22から0.73の値が得られた。このことから、中古車輸入が国内市場に大きな影響を及ぼしていることがわかる。ドイツ、スペイン、イタリアなどの自動車生産国も中古車を輸入しているが、国内市場に占める割合は0.1未満となり、資源国または新興国ほどの影響は見られなかった。

2005 年における中古車貿易に伴うグローバルな資源の移動総量の推計結果を表6に示す。340 万 ton の鉄、31 万 ton のアルミニウム、7.5 万 ton の銅、3.2 万 ton の鉛、2.7 万 ton の亜鉛が国間を移動している結果が得られた。ただし、今回の結果は中古車のうち、乗用車のみを対象としたものである。たとえば、図1に示される日本からの使用済み自動車輸出量のなかで乗用車の占める割合は3割にしかすぎない。したがって、貨物車、バスなどの他の車種、また中古部品、二次資源などを考慮した場合、資源の移動総量はさらに増大することが考えられる。

続いて、中古車の世界貿易量の6割を占める日本、ドイツ、米国からの資源流出に注目する。ここでは、3カ国の流出構造を明らかにするため、図2と同様に各流出先への流出量と各流出先までの距離、各流出先の一人あ

表5 2005 年の中古車輸入量

輸入国	輸入量 (万台): a	輸入割合 (%)	新車販売 (万台): b	a/(a+b)
1 ロシア	43	10	150	0.22
2 オーストラリア	39	10	59	0.40
3 リトアニア	29	7	11	0.73
4 NZ	17	4	8	0.69
5 チェコ	14	3	13	0.52
6 ドイツ	13	3	200	0.06
7 カザフスタン	12	3	n.a	n.a
8 UAE	11	3	n.a	n.a
9 スペイン	10	2	160	0.06
10 イタリア	10	2	230	0.04
その他	212	52		
計	410	100		

表6 2005 年の中古車貿易に伴う資源移動総量

資 源	移動総量 (ton)
鉄	3,400,000
アルミニウム	310,000
銅	75,000
鉛	32,000
亜鉛	27,000

たり GDP の関係を図3に示した。日本に関しては、アジアまたはオセアニア地域の新興国または近隣国に多くの金属資源を流出している状況が明らかになった。ドイツの場合、東ヨーロッパ地域の新興国だけでなく、フランスといった近隣の先進国にも多くの金属資源が流出している。米国は日本、ドイツと異なる流出構造を持ち、距離や経済水準に関係なく流出先は幅広く分布している。日本、ドイツ、米国について、流出先の中で低所得国（一人あたり GDP1 万ドル未満とする）の総流出量に対する割合は、それぞれ 47%, 58%, 55% となった。したがって、日本、ドイツ、米国から中古車輸出を通じて間接的に大量の金属資源が資源回収される体制の十分に整備されていない、または整備途中である国に流出している可能性が示された。

4. グローバルな資源移動から見える自動車リサイクルの将来

2., 3. の事例を大まかに整理すると、日本、ドイツ、米国といった自動車生産国から新興国への中古車、中古部品、二次資源輸出を通じて、大量の資源が移動している傾向が明らかになった。また、2. の日本からの使用済み自動車輸出量の増加傾向と資源の主要な流出先である

新興国の経済発展の可能性から、グローバルな資源の移動量は今後も拡大すると考えられる。

このような資源移動の現状および将来の動向を前提にして、自動車リサイクルの将来像について考えてみたい。国際商品性を有する使用済み自動車には、その性格に見合ったリサイクルシステムを考える必要がある。それは各国が個別に自動車リサイクルを行う現状の限界を意味する。たとえば、自動車生産国では今後使用済み自動車の輸出量が増加し、国内での解体処理量は減少することが予想される。結果として、破碎工程を経て生じる自動車シュレッダーダストのような最終廃棄物は減少する一方で、国内のリサイクル施設の稼働率および資源回収量も減少することになる。またレアメタル回収のための先端技術開発も使用済み自動車自体の回収が困難になることで十分な効果を得られない可能性が生じる。特に日本の場合、他国に先駆けて整備した自動車リサイクル法、リサイクル技術、リサイクル施設を十分に活用できない状況が考えられる。一方、輸出される使用済み自動車の主な利用先は、自動車リサイクルに関する法制度、技術、施設といった基本的な体制が十分に整備されていない、もしくは整備途中である新興国である。このような国で効率的に資源を回収することは困難である。

グローバルな資源移動を想定した場合の自動車リサイ

図3 日本、ドイツ、アメリカからの資源流出量、流出距離、流出先の一人あたり GDP の関係

クルの方向性として、2つのシナリオが考えられる。一つは資源移動を制御するシナリオである。中古車、中古部品、二次資源輸出を禁止するまたは制約することで、当該国内で発生した使用済み自動車をすべて当該国内でリサイクルする考え方である（個別リサイクルと呼ぶことにする）。もう一つのシナリオは、資源移動の存在を認め、関係国が協力して最適なりサイクルシステムを導入する考え方である（広域リサイクルと呼ぶ）。この場合、法制度および技術開発において先導する輸出国が輸入国に制度設計のノウハウおよび関連技術を移転するケース（広域リサイクル1）、またリサイクル能力が高い輸出国に輸入国の使用済み自動車を再輸出して集中的にリサイクルするケース（広域リサイクル2）など、状況に応じた選択肢が考えられる。

筆者は日本とタイを対象にして、産業連関分析を用いて個別リサイクルおよび広域リサイクルに関するシナリオ評価を行った⁷⁾。図4に、日本からタイへの使用済み自動車輸出を禁止し、日本国内でリサイクルするシナリオ（個別リサイクル）、輸出の存在を認め、代わりにタイへリサイクル技術を移転するシナリオ（広域リサイクル1）、タイの使用済み自動車を日本でリサイクルするシナリオ（広域リサイクル2）について、現状に対するライフサイクルCO₂排出量の増減を示した。新たな資源の投入が必要となる個別リサイクルより広域リサイクルのほうが、CO₂削減に効果的であるという結果が得られた。このシナリオ評価では、使用済み自動車を通じて新車や新品部品より中古車や中古部品を安価に手に入れることのできる便益を考慮していない。このような中古品貿易が輸入国にもたらす生活の質の向上効果⁸⁾も考

えると、広域リサイクルのシナリオが今後の自動車リサイクルの進むべき将来像といえる。

5. お わ り に

移動手段としてわれわれの生活に欠かすことのできない自動車は、潜在的な資源としても魅力的な存在である。本稿では、自動車生産国内で廃棄された自動車の多くは、中古車、中古部品あるいは二次資源として新興国を中心に国際的に利用されている現状を紹介した。このような使用済み自動車貿易に伴い生じるグローバルな資源の移動は、現状および将来の資源散逸のリスクを示唆するものである。今後の自動車リサイクルのあり方として、グローバルな資源の移動を前提としつつ、輸出国と輸入国が協力しながら地球全体としての資源散逸リスクを低減させる最適解を探索する取り組みが重要である。

参 考 文 献

- 1) 河西純一, 山戸昌子: LCAの自動車業界での取り組み, 自動車技術, 第56巻, 第7号, pp. 64-69 (2002)
- 2) 原田幸明: レアメタル類の使用状況と需給見通し, 廃棄物循環学会誌, 第20巻, 第2号, pp. 49-58 (2009)
- 3) 布施正暁, 鹿島 茂: 日本からの使用済み自動車輸出量の推計, 廃棄物学会論文誌, 第18巻, 第5号, pp. 305-313 (2007)
- 4) M. Fuse, K. Nakajima and H. Yagita: Outflow of Resources from Japan Focusing on End-of-life Vehicles, Materials Transactions, Vol. 48, No. 9, pp. 2436-2444 (2007)
- 5) M. Fuse, H. Kosaka and S. Kashima: Estimation of World Trade for Used Automobiles, Journal of Material Cycles and Waste Management, Vol. 11, No. 4, pp. 348-357 (2009)
- 6) M. Fuse, K. Nakajima and H. Yagita: Global Flow of Metal Resources in the Used Automobile Trade, Materials Transactions, Vol. 50, No. 4, pp. 703-710 (2009)
- 7) M. Fuse and S. Kashima: Evaluation Method of Automobile Recycling Systems for Asia Considering International Material Cycles, Journal of Material Cycles and Waste Management, Vol. 10, No. 2, pp. 153-164 (2008)
- 8) E. Williams, R. Kahhat, B. Allenby, E. Kavazanjian, J. Kim and M. Xu: Environmental, Social, and Economic Implications of Global Reuse and Recycling of Personal Computers, Environmental Science and Technology, Vol. 42, pp. 6446-6454 (2008)

図4 日本とタイを対象にした自動車リサイクルシナリオのライフサイクルCO₂評価

Global Resource Cycles in End-of-life Vehicle Trade

Masaaki Fuse

Research Institute of Science for Safety and Sustainability, National Institute
of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
(16-1 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8569 Japan)

Abstract

This work focuses on end-of-life vehicles being traded internationally for reuse or recycling. End-of-life vehicles are comprised of a large range of metal types that can be identified as artificial ores with high resource potentials. It is important to take into consideration the recycling system for evaluating the resource potential of traded end-of-life vehicles when designing new automobiles. In this paper, we give an overview of global resource cycles in end-of-life vehicle trade and discuss the future of automobile recycling systems.

Key words : automobiles, recycling, resource losses, global resource cycles