研究資料

東日本大震災の被災地における銅喪失量の推計

細野 靖晴・佐野 健二・小林 英樹

Estimation of the Amount of Copper Lost from the Area Devastated by the Great East Japan Earthquake

Yasuharu HOSONO, Kenji SANO, Hideki KOBAYASHI

Synopsis: The Great East Japan Earthquake of March 11, 2011, devastated much of the Tohoku region. From the viewpoint of resources, a large number of products and structures were destroyed and lost, and therefore a large amount of metal resources is required for reconstruction in the devastated areas. In recent years, with regard to certain metal resources, including rare metals, such factors as rising demand, the international situation, and the exhaustion of the resources have prompted concerns about the adequacy and stability of supplies. Moreover, with regard to copper, a base metal long thought to be abundant, rising prices attributable to rising demand have prompted concerns. In this study, the amount of copper lost in the devastated areas was estimated by distributing the copper stock in Japan to the areas in accordance with the scale of economic activity and the number of households. As a result, the amount of copper lost was estimated to be 48.4 kt, which accounts for around 4% of Japan's annual copper consumption. Furthermore, it was estimated that 7.2 kt of copper in five main categories of durable goods (motor vehicle, television, air-conditioner, washing machine and refrigerator) and 1.0 kt of copper in fishing boats were lost, based on an estimation of the numbers of such items lost in the devastated areas and their copper content.

Keywords: Copper; devastated area; Great East Japan Earthquake; metal stock; reconstruction

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、地震および津波によって多くの人命が失われるとともに、様々な製品や構造物が破壊、喪失された。特に、東北地方を中心とする被災地の被害は甚大である。資源に視点を置いた場合、破壊、喪失した製品や構造物には様々な金属資源が含まれており、被災地の復興に向けては纏まった量の金属資源が必要になると推測される。

一方、以下に説明するように、近年、金属資源は、需要拡大、価格高騰、国際情勢あるいは資源自体の枯渇など様々な要因によって供給リスクが懸念されており、今回のような突発的な災害による資源喪失の規模や資源供給に対する影響を見積もることは、金属資源を利用する広範分野の需給関係者にとって重要と考えられる。金属資源の供給リスクに関しては、各機関が様々な警鐘を鳴らしている。物質・材料研究機構は¹⁾、2050年までに深刻な資源制約が起りうる9金属（インジウム、錫、銀、亜鉛、鉛、金、銅、ニッケル、パラジウム）を発表しており、経済産業省は²⁾、

「地球上の潜在量が稀であるか、技術的・経済的な理由で抽出困難な金属のうち、現在工業用需要があり、今後も需要があるものと、今後技術革新に伴い新たな工業用需要が予測される31種の金属」をレアメタルと定義づけ、安定供給確保の重要性を訴えている。さらに、現在豊富に存在すると考えられ、「ベースメタル」と呼ばれる銅についても、需要拡大による価格高騰の危険性が報告されており³⁾、急速な需要拡大の要因としては新興国の経済成長が指摘されている³⁻⁵⁾。

筆者らは⁴⁾、金属資源の供給リスクについて、価格の高騰、生産地の偏在、需要の拡大、枯渇への不安等、様々なリスク要因を整理することで、生産国が生産や供給を停止する短期リスクの高い金属（白金とレアアース）と、枯渇による中長期リスクの高い金属（銅、亜鉛、錫、銀）を抽出した。また、銅に関しては生産量及び埋蔵量の推移を予測し、さらにマテリアルフロー分析の結果から、新興国の経済成長、つまりはインフラ整備や電気機器普及に伴う社会へのストック増加がリスク要因になり得ることを報告し

た。

上述のとおり、銅は、昨今の需要拡大によって価格高騰の危険性が報告されているとともに、社会へのストック増大がリスク要因となる資源である。今回の災害では、被災地にストックされていた多くの銅資源が破壊、喪失されており、その規模を見積もることは、東北地方の都市再生のみならず新たな都市開発を考える場合にも重要な情報になり得ると考えた。そこで、本報では、ベースメタルである銅に注目して、東日本大震災の被災地における銅の喪失量を推計したので、その内容を報告する。

2. 銅ストック量に基づく、被災地の銅喪失量の推計

上述のとおり、ベースメタルと呼ばれる銅などの金属資源は、社会へストックされるものである。そこで本検討では、図1に示す推計方法に従って、日本の銅ストック量を基にして東日本大震災で被害を受けた地域の銅ストック量を見積もることで、被災地の銅喪失量を推計することを試みた。平戸ら⁶⁾は、各種素材の生産統計などの統計データと素材の最終用途の寿命分布から社会中の素材蓄積量を試算する手法をトップダウン手法と呼んでいるが、ここで用いた推計方法も、概ねこのトップダウン手法に分類される類のものである。

日本全体の銅ストック量から、地域性(経済規模と世帯数)を考慮して被災地の銅ストック量を推計。

①日本全体の銅ストック量

ストック量は社会で使用されている物質量を利用。埋め立てなど採取困難なものは除外。

$$\text{②被災各県の銅ストック量} = \text{①} \times \frac{\text{県内総生産}}{\text{全国総生産}}$$

経済規模を考慮して、①を各被災県へ分配。

$$\text{③被災地の銅ストック量} = \text{②} \times \frac{\text{県内被災世帯数}}{\text{県内総世帯数}}$$

各県の総世帯数と被災世帯数の割合から、②を県内被災地へ分配。被災世帯数は、破壊・喪失の観点から全壊家屋数を利用。

図1 銅ストック量に基づく、被災地の銅喪失量の推計方法

まず始めに、東日本大震災の被害規模については、2011年6月5日の朝日新聞掲載記事⁷⁾を整理して用いた。掲載記事には、震災から約2ヶ月経過した時点における被害状況(死亡者数、行方不明者数、避難者数、全壊家屋数)が各市町村別に纏められている。本検討の目的は、被災地における銅喪失量を推計することであるため、破壊・喪失の観点から全壊家屋数に注目して、表1に県別の数を整理した。家屋全壊の被害を受けた地域は、青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県、千葉県⁸⁾の7県に点在し、その総

数は13万8千戸に及んだ。特に、津波による被害が甚大であった宮城県がその半数以上(約8万戸)を占めた。本報では、上記7県において家屋全壊の被害を受けた地域を対象としてそれらを被災県および被災地と表す。また、被災地で使用されていた銅含有製品が全て破壊・喪失したと仮定して銅喪失量を推計した。

表1 県別の全壊家屋数

	全壊家屋数 (戸)
青 森 県	230
岩 手 県	23,133
宮 城 県	82,631
福 島 県	30,115
茨 城 県	1,570
栃 木 県	110
千 葉 県	470
合 計	138,259

次に、一般的に社会における物質のストック量は、社会に投入された物質の量から排出された物質の量を差し引いた値であり、この値を累積したものがその期間で社会にストックされた物質の総量となる。但し、近年、物質のストック量には、社会で使用中のものとともに、使用されなくなったうえ回収が困難なものが含まれていることが指摘されており、両者を区別して勘定されるようになっている⁸⁻¹¹⁾。醍醐ら⁸⁾は、前者を物質ストック量、後者を老廃ストック量として扱うことで、日本社会における銅のストック量について検討しており、2005年時点における累積値として、銅ストック量が18,700kt、銅老廃ストック量が9,900ktと報告している。ここで、銅老廃ストックの内訳としては、埋め立てに利用されるもの、環境に蓄積されるもの、鋼鉄に含まれ分離困難なもの、混合材として輸出されるものである。本検討の目的から、使用されていた銅含有製品が震災によって破壊、喪失したと仮定するのが妥当と考え、社会で使用中の銅の量(銅ストック量: 18,700kt)を引用し、銅老廃ストック量は除外した。なお、原田ら¹²⁾は、経済が立ち上がり急速に成長していく時代に対して、ある程度経済成長が進み緩やかに成長する時代では、経済成長に対する資源消費量が少なくなる(ディカップリング状態)ことを報告している。ここで扱う物質ストック量は、高度成長期前から現代に掛けて、つまり、原田らが示す2つの時代を経ることで日本社会に蓄積されてきた物質の総量である。

表2に、被災地における銅ストック量の推計結果を纏め、以下、推計過程に沿って説明を加える。上述のとおり、銅ストック量は、インフラ整備、産業発展、個人購買等の結果、日本社会に蓄積されたものであり、日本全国で均一に

蓄積されているとは考えづらい。そこで、経済規模の大きい地域では、インフラ整備、産業発展、個人購買等の規模も大きく、より多くの銅が蓄積されるものと仮定し、本報では、地域の経済規模を表す県内総生産に注目した。なお、県内総生産に関しては、内閣府から統計データが発表されており¹³⁾、2008年度の数値を利用した。同統計データは、生産額が産業別に分類されているため、各県における産業構造の特徴を見ることが出来る。国内総生産(全国の総計)は約523兆円であり、今回注目した被災地7県の総生産は約64兆円と全体の1/9程度である。また、総生産額の大きい千葉県、茨城県、宮城県では、製造業の生産額が比較的大きく、岩手県、宮城県では、漁業の生産額が大きい等の地域差も確認することができる。

上記7県に対して、県内総生産の割合に応じて、日本の銅ストック量(18,700kt)を分配した結果、各県の銅ストック量は、経済規模の大きい千葉県、茨城県、宮城県の順となる。次に、各県の銅ストック量を県内の被災地に分配することになるが、各県内の経済規模は一定と仮定したうえで、県内の総世帯数¹⁴⁾と被災世帯数の割合で銅ストック量を被災地へ分配した。なお、上述のとおり、破壊・喪失の観点から、家屋全壊の被害を受けた地域を対象として被災世帯数には全壊家屋数を用い、そこで使用されていた銅含有製品が全て破壊・喪失したと仮定した。

上記推計の結果、被災した7県の中で経済規模が3番目に大きく、かつ、被害規模が最も大きい宮城県の被災地で、最も多くの銅(28.2kt)が喪失し、次いで、福島県の被災地では11.7kt、被災地全体では48.4ktの銅が喪失したと推定された。これは2008年度の日本の銅消費量(1,200kt¹⁵⁾)に対して約4%、また、経済発展著しい中国の同年消費量(5,000kt¹⁵⁾)に対して約1%に相当する。

表2 被災地の銅ストック量の推計結果

	被災県 総生産 (億円)	被災県 総生産 (%)	被災県 銅ストック量 (kt)	被災県 総世帯数 (千戸)	被災地 銅ストック量 (kt)
全 国	5,227,472	100	18,700	49,063	-
青 森 県	44,751	0.86	160	509	0.07
岩 手 県	43,918	0.84	157	479	7.59
宮 城 県	81,934	1.57	293	859	28.19
福 島 県	76,669	1.47	274	707	11.68
茨 城 県	115,157	2.20	412	1,029	0.63
栃 木 県	79,901	1.53	286	705	0.04
千 葉 県	196,889	3.77	704	2,304	0.14
7県合計	639,219	12.23	2,287	6,592	48.35

3. 一般耐久消費財5品目と漁船の銅喪失量の推計

上述のとおり、今回の震災では、地震および津波によって多数の製品や構造物が破壊、喪失された。ここでは、震災発生後に得られた被害情報を基に、特定分野に限られる

が、それらの分野における銅の喪失規模を推計することを試みた。本報では、一般市民がすぐに必要となる耐久消費財の5品目(自動車、テレビ、エアコン、洗濯機、冷蔵庫)と漁民にとって必要な漁船を対象として、被災地において破壊・喪失した数量と製品の銅含有量を見積もることで銅喪失量を推計した。以下、推計の方法と結果を説明する。

3.1 一般耐久消費財5品目に関して

世帯における一般耐久消費財の所有数については、総務省統計局の平成21年全国消費実態調査¹⁶⁾に基づき、家屋全壊の被害が大きかった3県(表1参照:岩手県、宮城県、福島県)のデータを平均して用いた。表3に、一般耐久消費財5品目の推定所有数を纏める。本データは、世帯構成人員が2人以上の世帯を対象としており、単身世帯は除外されているが、日本の平均的な世帯構成人数が2.62人¹⁷⁾であること、および一般耐久消費財の概略数量を把握するのが目的であることから、所有数の推定には本データを用いた。東北地方では、自動車の所有数が都市部に対して高く、エアコンの所有数が西日本地区に対して低い等の傾向も見られ、本データでも地域性のある程度反映できるものと考えられる。また、テレビについては、ブラウン管型テレビと薄型テレビ(液晶、プラズマ)を区別したデータもあるが、ここでは両者の合計数を用いた。薄型テレビ(液晶、プラズマ)については、製品の銅含有量に関する情報が得られず、ブラウン管型テレビの数値を代用したためである。

表4に、今回の推計で想定した一般耐久消費財5品目の型式、重量を纏めておく。世帯の嗜好によって、大型、中型、小型の製品の組み合わせが考えられるが、ここでは、平均的な重量を推計に用いるためにそれぞれ中型製品を想定した。なお、自動車については機械システム振興協会より報告されている調査資料「銅系非鉄金属スクラップの高度分離・選別技術に関する調査研究」¹⁸⁾を参照し、家電4品目については自社の製品情報¹⁹⁾を参照した。さらに、それぞれの製品の銅含有率については上記調査資料¹⁸⁾を参照したうえで、表4の製品重量との積により製品の銅含有量を算出した。家電4品目の中では、エアコンにおいて銅の含有率が17%と高い。コンプレッサー、モーター、熱交換器等、銅を使用した部品を多く含むためである。

表5に、被災地における一般耐久消費財5品目の銅喪失量を纏める。まず始めに、表中、各製品の銅含有量に対して、表3に示した1世帯当りの製品所有数を乗じることで、1世帯当りの銅喪失量を51.8kgと推定した。また、これらの銅喪失量に被災世帯数(全壊家屋数)を乗じることで、被災地で使用されていた一般耐久品5品目における銅喪失量を7.2ktと推定した。なお、本検討では、破壊・喪失の

観点から家屋全壊の被害を受けた地域を対象として被災世帯数には表1に示す全壊家屋数を用い、そこで使用されていた銅含有製品が全て破壊・喪失したと仮定した。

表3 一般耐久消費財5品目の推定所有数(1世帯当り)

品目	岩手県 (台/世帯)	宮城県 (台/世帯)	福島県 (台/世帯)	3県平均 (台/世帯)
自動車	1.8	1.7	1.9	1.8
テレビ	2.2	2.3	2.3	2.3
エアコン	0.7	1.5	1.7	1.3
洗濯機	1.1	1.1	1.1	1.1
冷蔵庫	1.3	1.3	1.3	1.3

表4 推計に用いた一般耐久消費財の型式および製品重量

品目	型式	製品重量 (kg)	備考
自動車	中型	1,200.0	引用文献データ ¹⁸⁾ より算出
テレビ	25S99SN	28.0	25型ブラウン管
エアコン	RAS-281JDR	49.5	10畳用、室外機：36.0kg 室内機：13.5kg
洗濯機	AW-60SDF	36.0	家族使用(6kg)を想定
冷蔵庫	GR-D34N	69.0	家族使用(340L)を想定

表5 一般耐久消費財5品目の銅喪失量の推計結果

品目	製品の重量 (kg)	製品の銅含有率 (%)	製品の銅含有量 (kg)	1世帯の所有数 (台)	1世帯の銅喪失量 (kg)	被災地の銅喪失量 (t)
自動車	1,200.0	1.5	18.0	1.8	32.7	4,519
テレビ	28.0	3.0	0.8	2.3	1.9	263
エアコン	49.5	17.0	8.4	1.3	10.8	1,492
洗濯機	36.0	5.0	1.8	1.1	2.0	274
冷蔵庫	69.0	5.0	3.5	1.3	4.4	610
合計	-	-	32.5	-	51.8	7,158

3.2 漁船に関して

東北地方沿岸地域の漁船の被害については、河北新報社より発表された被害情報「被災漁船1万9000隻」²⁰⁾からもその深刻さが伺える。被災した漁船の銅喪失量の推計にあたっては、漁船の銅含有量とともに、今回被災した漁船の大きさおよびその内訳を把握する必要があったため、別途調査した情報を利用して、以下のように推計した。

まず、漁船の銅含有量については、(財)日本海事協会 研究センターの調査資料「船舶における資源循環型技術に関する調査研究」²¹⁾を参考にした。同調査研究では、船舶から回収した資源を有効に循環させるための技術方針を明確にすることを目的に、実船3例を対象として、船舶の構造および使用機器における有効資源の所在および

量を把握することを試みている。解析対象の実船は、船重量が1,800～28,000tの大型船舶(自動車運搬船、エチレンガス運搬船、化学薬品バラ積み兼白油タンカー)である。漁船における銅含有量情報は見当たらなかったため、ここでは、上記3種類の船舶の銅含有量を参考に漁船の銅含有量を推定した。表6に、船舶重量と銅含有量の調査結果を纏める。船舶重量1t当りに、2.7kgの銅が使用されていることが分かる。

次に、被災した19,238隻の漁船に対して、漁船の大きさとその内訳を推定した。表7に、被災漁船の数、重量内訳および銅喪失量の推計結果を纏める。一般に、船舶の大きさを表す指標としては重量が用いられており、農林水産省の統計情報²²⁾から各県の重量別船数を調査した。漁船の被害が大きかった岩手県と宮城県の船数データを平均化したうえで、その重量別船数の割合と被災漁船総数(19,238隻)から被災した漁船の重量別船数を推定した。また、重量区分毎の漁船の平均重量と数から被災した漁船の総重量を推定したうえで、銅含有率(2.7kg/t)を乗じて被災した漁船の銅含有量を算出し、銅喪失量とした。なお、漁船

表6 船舶重量と銅含有量の調査結果

船舶種	船舶重量 (t)	銅含有量 (t)	備考
A	28,755	71	自動車運搬船
B	1,848	10	内航液化エチレンガス運搬船
C	3,491	12	内航液化化学薬品ばら積み兼白油タンカー
平均	11,365	31	3種類の船舶の平均重量と銅含有量
重量比	1	0.003	船舶1t当たりの銅含有量は2.7kg

注：本研究では、漁船の銅含有量を確保し得なかったため、船舶の既調査研究データ²¹⁾(銅含有量)を代用して漁船の銅含有量を推定

表7 被災漁船の数、重量内訳および銅喪失量の推計結果

重量別区分 (t)	船数 岩手 (隻)	船数 宮城 (隻)	船数 平均 (隻)	船数 割合 (%)	被災漁船 内訳船数 (隻)	被災漁船 平均重量 (t)	被災漁船 総重量 (t)	被災漁船 銅喪失量 (t)
～1	113	147	260	4.95	952	1	952	2.6
1～3	1,452	789	2,241	42.65	8,204	2	16,408	44.5
3～5	526	937	1,463	27.84	5,356	4	21,424	58.1
5～10	244	398	642	12.22	2,350	8	17,627	47.8
10～20	219	179	398	7.57	1,457	15	21,856	59.3
20～30	1	2	3	0.06	11	25	275	0.7
30～50	2	6	8	0.15	29	40	1,171	3.2
50～100	17	17	34	0.65	124	300	37,341	101.3
100～150	1	34	35	0.67	128	125	16,016	43.5
150～200	2	10	12	0.23	44	175	7,688	20.9
200～350	15	22	37	0.70	135	275	37,250	101.1
350～500	15	106	121	2.30	443	425	188,261	510.9
500～	-	1	1	0.02	4	750	2,746	7.5
合計	2,607	2,648	5,255	100	19,238	2,145	369,014	1,001.4

の平均重量は、重量を区分している2値（上限値、下限値）の平均値とし、1.0t以下の重量区分については下限値がないため、上限値の1.0tとした。本検討の結果、被災した漁船19,238隻には1.0ktの銅が含まれていたと推定されることが分かった。

4. おわりに

今回、日本の銅ストック量を被災した7県の経済規模と被害状況を基に分配することで、被災地における銅喪失量を推計した。検討の結果、被災した7県の中で経済規模が大きく、かつ、被害規模が最も大きかった宮城県の被災地において最も多い28.2ktの銅が喪失し、次いで、福島県の被災地では11.7kt、被災7県全体では48.4ktの銅が喪失したものと推定された。これは2008年度の日本の銅消費量(1,200kt)に対して約4%に相当するが、被災地の復興がある程度時間を掛けて進められることを鑑みると、本件に関わる銅の需要が供給に与える影響は小さいと考える。

一方、一般耐久消費財5品目と漁船については、被災地において破壊・喪失した数量と製品の銅含有量を見積もることで銅喪失量を推計し、一般耐久消費財5品目では7.2kt、漁船では1.0ktの銅が喪失したものと推定した。

参考文献

- 1) 原田幸明, 島田正典, 井島清 (2007): 日本金属学会誌, 71 (10), 831-839
- 2) 経済産業省, レアメタル確保戦略の公表について, 経済産業省ホームページ, 入手先 <<http://www.meti.go.jp/press/20090728004/20090728004.html>>, (参照2011-7-26)
- 3) 神谷夏実 (2010): JOGMEC 金属資源レポート, 9月号, 93-113
- 4) 越崎健司, 小林英樹 (2011): 第6回日本LCA学会 研究発表講演要旨集, 仙台, 148-149
- 5) 木下裕介, 井上裕太, 福重真一, 梅田靖, 小林英樹 (2011): 日本機械学会 第21回設計工学・システム部門講演会USB論文集, 米沢, 583-587
- 6) 平戸崇博, 醍醐市朗, 松野泰也, 足立芳寛 (2009): 鉄と鋼, 95 (1), 96-101
- 7) 株式会社朝日新聞社 (2011): 朝日新聞朝刊, 6月5日, 4pp.
- 8) Daigo I., Hashimoto S., Matsuo Y., Adachi Y. (2009): Resources, Conservation and Recycling 53, 208-217
- 9) Müller D.B., Wang T., Duval B., Graedel T.E. (2006): Proc. of the National Academy of Sciences, 103, 16111-16116
- 10) 醍醐市朗, 五十嵐佑馬, 松野泰也, 足立芳寛 (2007): 鉄と鋼, 93 (1), 66-70
- 11) 醍醐市朗, 松野泰也 (2010): 日本LCA学会誌, 6 (2), 88-91
- 12) 原田幸明, 島田正典, 井島清 (2007): 日本金属学会誌, 71 (10), 823-830
- 13) 内閣府, 2008年県内総生産, 内閣府ホームページ, 入手先 <http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/kenmin/files/contents/tables/h20/syuyou1.xls>, (参照2011-7-28)
- 14) 総務省, 統計局刊行 総務省統計研修所編集「日本の統計 2011」, 総務省ホームページ, 入手先 <<http://www.stat.go.jp/data/nihon/back11/zuhyou/n0200900.xls>>, (参照2011-7-28)
- 15) 上木隆司 (2008): JOGMEC 金属資源レポート, 9月号, 97-121
- 16) 総務省, 平成21年全国消費実態調査, 政府統計の総合窓口ホームページ, 入手先 <<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?tid=000001037021>>, (参照2011-10-31)
- 17) 厚生労働省, 平成21年世帯数と世帯人員数の状況, 厚生労働省ホームページ, 入手先 <<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa09/1-1.html>>, (参照2011-7-28)
- 18) 財団法人機械システム振興協会 (2008): 平成20年度調査研究報告書 銅系非鉄金属スクラップの高度分離・選別技術に関する調査研究, 1-60
- 19) 株式会社東芝, 家電製品 Toshiba Living Doors, 株式会社東芝ホームページ, 入手先 <<http://www.toshiba.co.jp/living/>>, (参照2011-7-28)
- 20) 株式会社河北新報社, 特集記事, 株式会社河北新報社ホームページ, 入手先 <http://www.kahoku.co.jp/spe/spe_sys1062/20110514_06.htm>, (参照2011-7-26)
- 21) 財団法人日本海事協会 研究センター (2011): 船舶における資源循環型技術に関する調査研究, 1-11
- 22) 農林水産省, 2003年 (第11次) 漁業センサス 海面漁業の生産構造及び就業構造に関する統計, 政府統計の総合窓口ホームページ, 入手先 <<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001024340&cycode=>>, (参照2011-7-28)