

■ シリーズ特集 ■ 明日を支える資源 (39)

ボロン資源の現状と将来

Present Status and Prospect of Boron Resources

白波瀬 健*

Takeshi Shirahase

1. はじめに

世界のホウ素含有鉱物の生産量は年間約300万トンで、日本は全量を海外からの輸入に依存している。又ホウ素原料として最も多く使われるのはホウ砂とホウ酸であって、現在我が国では1988年の9万9千トンを最高に年間8万~9万トンの需要がある。しかしながらその大部分はガラス製品製造分野に使用されており、既存分野での伸びは今一つ望み薄である。そこで新分野への利用が待望されているが、ホウ素についてはその特性が十分に把握されているとは言えず、今後の研究開発に期待がかけられている。

現在世界的に重要なホウ素の鉱床は陸成堆積盆における蒸発岩でアメリカ、トルコのほか数か国に資源が偏在しているが、鉱量は B_2O_3 で2億トン以上あり、今後200年は可採年数が見込まれるので供給面での問題は無いと言える。

2. 資源の賦存状況と生産

地殻の構成単位として約2,000種の鉱物が知られて

いるが、そのうちホウ素を1%以上含む鉱物は約100種あって、それ等のうち数種の鉱物は大量に集まってホウ酸およびホウ砂の原料鉱物として採掘されている。地殻中のホウ素はBとして約3ppmであって、マグマが固結するときホウ素の大部分は残液に濃集し、マグマ固結の末期にホウ素鉱物として晶出したり、他の揮発性物質と共に放散されて周辺の岩石と反応しホウ素鉱物となる。特にマグマが地表または浅所で固結するときは噴出孔の近くでしばしばホウ酸石 Sassolite の生成が見られる。火山地方の噴気、温泉、湖水にはホウ素を多量に含むものも多く、湖沼の水やその堆積物中にしばしば濃集する。

現在採掘の対象となっている鉱床の大半は、大陸内部の乾燥地域の盆地へ近くの火山活動の噴気物である塩類が河水と共に流れ込み、たまった水が乾期に蒸発して溶解していた塩類が沈殿してきた湖成堆積鉱床である。鉱業的に重要なホウ素鉱物は表1のとおりで、中でも1~6の6種類の鉱物が著名である。

世界最大の埋蔵量を有するトルコはホウ砂・ホウ酸の原料鉱石となるコレマナイトやウレキサイトを産出

表1 鉱業的に重要なホウ素鉱物

番号	鉱物名	化学式	B_2O_3 (%)
1	ホウ酸石 (Sassolite)	H_3BO_3	56.4
2	カーン石 (Kernite or Rasorite)	$Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$	50.9
3	灰ホウ石 (Colemanite)	$Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$	50.8
4	プライス石 (Priceit)	$Ca_4B_{10}O_{19} \cdot 7H_2O$	49.8
5	曹灰ホウ石 (Ulexite)	$NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$	42.9
6	ホウ砂 (Borax or Tincal)	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	36.5
7	チンカルコナイト (Tincalconite)	$Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$	47.8
8	インヨー石 (Inyoite)	$Ca_2B_6O_{11} \cdot 13H_2O$	37.6
9	ハイドロボラサイト (Hydroboracite)	$CaMgB_5O_{11} \cdot 6H_2O$	50.5
10	方ホウ石 (Boracite)	$Mg_3B_7O_{13}Cl$	62.2
11	アシャー石 (ザイベリ石) (Ascharite)	$Mg(Bo_2)(OH)$	41.4

* 太陽鉱工(株)常務取締役

〒651 神戸市中央区磯辺通1-1-39 (太陽ビル)

表2 World Reserves of Borates
(millions of metric tons, B₂O₃)

Turkey	109 ~ 150
USSR	54
United States	50 ~ 60
South America *	27
China, People's Republic of	27
Total	267 ~ 318

* Primarily Argentina and Chile; also Includes Peru and Bolivia.

(SOURCE CEH)

するが、技術的な遅れから長期に亙り原鉱石のまま輸出する状態が続いた。最大の輸出先はアメリカであり、ヨーロッパや日本へも輸出している。しかし1987年からホウ砂・ホウ酸の生産能力を増強しており日本の輸入量もここ数年急増してきている。

アメリカはカルフォルニア州を中心に世界第一のホウ素鉱産出国で、有名なU.Sボラックス社とNACCの二大メーカーがあり、前者はカーン石を後者はかん水を原料としてホウ砂・ホウ酸を生産している。

上記トルコとアメリカの2ヶ国で世界埋蔵量の60%強を又世界産出量の90%以上を占めており、そのほかの生産国としてはソ連、中国及び南米のチリ、アルゼンチン等がある。ソ連では二疊系海成層中のホウ素鉱物を採掘しており、中国および南米にはブラヤ湖が多く、泥、シルト、岩塩、石膏とともにウレキサイトやチンカル等のボロン鉱物を伴って産出する。

我が国はホウ素原料を全量海外産出国からの輸入に依存しており、これを供給ソース別に見るとアメリカ産が圧倒的に多く1990年の輸入実績では、ホウ砂で73%、ホウ酸で67%となっている。とりわけU.Sボラックス社からの輸入がアメリカ産の60%を占めており、同社はカルフォルニア州にホウ酸20万トン、ホウ砂

表4 ホウ酸・ホウ砂の輸入推移 (単位: トン)

○ ホウ酸 (H ₂ BO ₃)					
	86年	87年	88年	89年	90年
アメリカ	17,467	18,893	21,396	17,999	17,324
イタリア	4,641	5,651	5,250	4,616	4,053
トルコ	1,200	700	3,250	4,002	3,339
ソ連	618	85	17	—	34
中国	441	165	124	210	194
フランス	—	72	—	400	140
その他	17	—	33	34	719
合計	34,384	25,530	30,070	27,293	25,803
○ 無水ホウ砂 (Na ₂ B ₄ O ₇)					
アメリカ			9,513	13,803	14,391
○ 五分子ホウ砂 (Na ₂ B ₄ O ₇ · 5H ₂ O)					
アメリカ			31,888	34,312	33,033
中国			49	18	36
トルコ			8,500	16,222	17,100
イタリア			58	54	15
その他			—	96	—
合計			40,445	50,702	50,184
○ 十分子ホウ砂 (Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O)					
アメリカ			18,161	1,738	637
中国			—	35	18
トルコ			1,000	—	300
ソ連			34	210	190
その他			—	2	—
合計			19,195	1,985	1,145
ホウ砂計	53,687	58,821	69,202	66,490	65,720
ホウ酸ホウ砂計	78,071	84,351	99,272	93,783	91,523

(日本貿易月報)

80万トン計100万トン(年間)の生産設備を有するほか、フランス、スペインにも生産拠点を有する世界のトップメーカーである。同じ米国産の一方のソースであるNACCの生産能力はホウ酸5万トン、ホウ砂15万トン、計20万トンと言われる。

80年代前半までホウ素・ホウ酸の安定ソースであった中国とソ連はここ数年対日供給力を失い事実上輸出停止の状態となっている。ソ連はチェルノブイリの原発事故でホウ砂、ホウ酸の国内需要が増大したためではないかと推測されており、中国も輸出国から逆に輸入国に転換した模様である。中国の生産能力は3~4万トンで、2,000~3,000トン規模の工場を数多く有し

表3 World Production of Borate Minerals
(thousands of metric tons, gross weight)

	Turkey	United States	USSR	Argent-ina	China People's Republic of	Peru	Chile	Total
1984	895	1,240	200	142	27	10	4	2,518
1985	954	1,151	200	158	27	10	5	2,505
1986	928	1,135	200	191	27	23	6	2,510
1987	998	1,256	200	184	27	20	14	2,699
1988	1,179	1,149	200	185	27	10	10	2,760

(SOURCE CEH)

ているものと思われる。

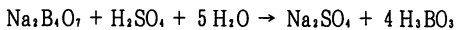
イタリアはトルコ産のコレマナイトを原料としたホウ酸の生産能力を6～7万トンに増強し対日供給力をアップしてきた。

トルコのホウ砂・ホウ酸の対日供給の歴史は古く、現在の生産設備はホウ砂18万トン、ホウ酸3.5万トンに増強されている。

以上のホウ砂・ホウ酸とは別に我が国は繊維の原料としてコレマナイトを輸入しており、1989年の輸入量はトルコ63,555トン、ソ連843トンである。

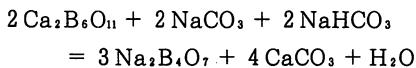
4. ホウ酸・ホウ砂および用途

ホウ酸は白色鱗片状の結晶で天然にはホウ酸石(Sassolite)として産出するが、あまり純度が高くなく通常相当量の不純物を含んでいる。したがって高純度のホウ酸はホウ砂($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)の水溶液に硫酸を加え、出来た含水ホウ酸を再結晶して純度向上をはかっている。



ホウ酸は熱を加えると水を失いメタホウ酸(HBO_2)となり、さらに加熱すると酸化ホウ素(B_2O_3)となる。

ホウ砂は天然のホウ砂を精製するほか、ウレキサイト、コレマナイト、ブライズ石等を複分解して製造する。



用途

- ガラス短繊維 住宅用断熱材。
溶融温度を引下げ、加工性を向上させるためホウ砂が用いられる。
- ホウケイ酸ガラス 自動車ヘッドランプ。
高速道のカバードグラス。
理化学用機器。耐熱食器。
各種電気管。

ホウ酸を添加すると酸化Li, Na, K等のアルカリ成分が B_2O_3 で置換され、耐熱、耐候、耐薬品性が改善される。

- エナメルフリット
ホウ砂やコレマナイトが用いられる。ホウ素の強力な溶解作用で美しくかつ膨張係数の小さい熱的、機械的ショックに強い釉薬となる。
- ガラス長繊維 FRP。電気絶縁用加工クロス。自動車部品。

ホウケイ酸ガラスに近い組成でコレマナイトを使用する。

以上4種のガラス製品関連分野でコレマナイトの殆んど全量と、ホウ酸・ホウ砂の70%近くを消費する。その他の用途は量的には僅少であるが多岐に亘っており、肥料、防虫剤、医薬品、セルロース・ファイバー、ダンボール紙製造用接着剤、フェロボロンおよび精製ホウ砂用の原料等に用いられている。

5. 新素材としての期待

ホウ素は多くの元素の中でも特に広い分野で使われている元素であるが、その特性が明確になるにつれてハイテク用を高純度品の需要が伸びてきている。

○中性子吸収能の利用

ホウ素は中性子遮へい材として以前から研究が進められており、今後も高速増殖炉の燃料制御棒や使用済み核燃料容器への需要増が見込まれる。ホウ素は天然には4:1の割合で ^{10}B と ^{11}B が存在し、中性子吸収能を持つ ^{10}B を分離濃縮することが重要な課題である。

○ファインセラミックスとしての利用

窒化ホウ素は潤滑性が極めて高く、殊に高温部の潤滑に適しており、熱硬化性樹脂に加えて皮膜を作ると摩擦に強い半永久的な表皮が得られる。そのため高温電気絶縁材料、耐熱耐触材料およびガラス器製造時の離型材として使用される。

炭化ホウ素はその硬さを利用して研磨材や工具に使われ、キュービック・ボロンナイトライド(CBN)はダイヤモンドの切削工具が使えない鉄系の難削材の工具用として使用される。

○金属精製への利用

三塩化ホウ素は亜鉛、銅、アルミニウム、マグネシウムの精製の際に窒化物、炭化物、酸化物を融解体中から除くのに使われる外、最近では半導体ガ

表5 World Consumption of Borate Minerals-1988 (thousands of metric tons, B_2O_3)

	Boron Chemicals Production	Other Direct Mineral Uses	Total
United States	437	54	491
Western Europe	345	50	395
Turkey	63	neg	63
Japan	1	20	21
Total	846	124	970

(SOURCE CEH)

表6 Japanese Consumption of Combined Boron Minerals and Chemicals-1988
(thousand of metric tons, B₂O₃)

	Minerals	Basic Chemicals	Derived Chemicals	Total
Glass and Ceramic Uses				
Insulation Glass Fiver	—	13		13
Textile Glass Fiver	24	—		24
Glass	—	12		12
Enamels and Glazes	—	10		10
Cleaning and Bleaching	—	—	1	1
Electronic Capacitors	—	*		*
Pesticides	—	*		*
Catalysts	—	*		*
Metallurgical Uses	—	4		4
Other Uses	1	13	1	15
Total	25	52	2	79

* Less Than 500 tons

(SOURCE CEH)

ス（アルミ配線のエッチング用）や化合物半導体結晶の引上用るつばに使われるPBNの原料としての用途が増えている。

○複合材料としての利用

現在金属をマトリックスとする複合材料（FRM）は主に軽量化を目的として研究開発が進められており、プラスチックをマトリックスとする材料では耐えられない温度域での使用を目的としている。マトリックス金属としてはアルミニウムが一般的でボロン繊維を強化材としたFRMは宇宙構造材、航空機、医用関係用具、スポーツ用具等広範囲の応用が期待される。

6. おわりに

ホウ素は古くからガラス、陶磁器、医薬および肥料等に使われてきたが、最近では原子力材料、電子・電気部品材料、磁性材料、半導体関連材料、複合材料等新素材として期待され研究が進められており、これ等新素材の原料として最近高純度酸化ホウ素の需要が伸びている。

我が国はホウ素原料を全量輸入に頼っており、以下の5種類の間産品と原鉱石（主としてコレマナイト）を輸入している。

- ① 天然のホウ砂（十分子ホウ砂 Na₂B₄O₇・10H₂O）
- ② 濃縮ホウ砂（五分子ホウ砂 Na₂B₄O₇・5H₂O）
- ③ 精製ホウ砂（無水ホウ砂 Na₂B₄O₇）
- ④ ホウ酸（H₃BO₃）
- ⑤ 酸化ホウ素（B₂O₃）

資源がアメリカ、トルコを始め数か国に偏在していることには問題があるが、数年前までアメリカが独占的にわが国へ供給していたのに対し、近年トルコ、イタリアが生産、輸出能力を急速に強化し、更にチリやソ連も対日供給量を増加させる傾向にある。その上新素材としての用途が期待される精製ホウ酸および酸化ホウ素の国内生産能力も1987年頃から急速に増強されているので、ホウ素原料の供給面の不安は無いと言えよう。

参 考 文 献

- 1) 鉱産物の知識と取引 吉田国夫
- 2) レアメタル事典 堂山昌男
- 3) 無機化学全書 斉藤一夫
- 4) レアメタルニュース