

## ■ シリーズ特集 ■ 明日を支える資源 (77)

〈連載：新機能材料を支える工業鉱物資源②〉

# パーライト資源の現状と将来

Recent Conditions and Future of Perlite Resources

西川 有司\*・中井 完\*\*

Yuji Nishikawa Tamotsu Nakai

### 1. はじめに

ガラス質火山岩とは、黒曜岩 (Obsidian)、真珠岩 (Perlite)、松脂岩 (Pitchstone) などを総称する火山ガラスを主とする岩石である。真珠岩などガラス質火山岩をパーライト原石、粉碎・分級したものをパーライト精石、焼成したものを膨張パーライトと称している。膨張パーライトは、断熱性、遮音性、保水性、化学的不活性、耐火性、軽量性などの優れた特性をもっている。

パーライト資源は世界各地に分布し、新第三紀以降の酸性火山活動により形成されたもので、一般的に流紋岩にともなうものが多い。日本でも北海道から九州にわたり広い分布を示す。現在米国、ギリシャ、トルコ、イタリア、ハンガリー、中国、日本などが主要資源保有国でありかつ生産国である。

パーライトの工業化の歴史は新しく、1940年代米国でパーミキュライトの代替品として、膨張パーライトをコンクリートや石膏の骨材に使用したのが始まりである。日本では、1960年に建築材料として膨張パーライトの商業生産を開始している。パーライトの用途は様々であり建築材、断熱材、土壌改良材等がその主流である。

パーライトの生産量は、用途の拡大とともに増加しており、過去30年で約6倍のパーライト精石生産量を示し、現在世界全体で300万t以上に達する。年率3～4%の需要増加が予想されており、今後超軽量化や環境適用浄化の素材などの新規用途開発でさらに発展しうる資源である。

### 2. パーライト資源の現状

#### 2.1 地質

高温の火山のマグマが地表または地表下の比較的浅いところで急冷されてできる火山ガラス質岩石は、鉱物の結晶粒をほとんど含まない、ガラス状の酸性火山岩である。珪酸SiO<sub>2</sub>分は60～75%を示す。光沢ある緻密質な岩石であり、黒色、灰色、緑色、赤色など様々な色を呈する。

水分含有量に基づき、黒曜石、真珠岩、松脂岩に区別される<sup>1) 2)</sup> (表1)。含水量は、マグマの冷却時のマグマが含有する水蒸気を表していると考えられている。火山ガラスは、準安定であるため、地質時代の経過とともに結晶化したり、粘土化変質を受ける。そのため古期の酸性火山岩はパーライト資源となりにくい。

表1 パーライト原石の特徴<sup>1), 2)</sup>

	黒曜石	真珠岩	松脂岩
H <sub>2</sub> O	2%以下	2～5%	5%以上
外観	黒色、介殻状断口	灰色、真珠光沢玉ねぎ状構造	樹脂光沢
物性	強度優、吸着性	吸水性、保水性 断熱性	強度優

パーライト原石からなるパーライト鉱床は、急冷フロントの軽石質鉱床、自破碎溶岩状鉱床、塊状鉱床、漸移帯、ガラス質流紋岩の順で累帯構造を形成している<sup>3)</sup>。パーライト鉱床は流紋岩の溶岩ドームをコアに、それを被覆するようにして形成されている。パーライト鉱床の全ての産状を説明するモデルはないが、米国ニューメキシコNo Agua Peaks鉱床は、パーライト鉱床の典型的な例である<sup>4)</sup> (図1)。

#### 2.2 分布

パーライト資源は、主として環太平洋火山帯、ユーロアフリカ流紋岩帯中に分布する。一般的に、その分布はプレートの境界部の活動に関係しており、島弧

\* 三井金属資源開発㈱鉱物資源事業部調査部長

〒140-0014 東京都品川区大井1-23-1

\*\* 三井金属鉱業㈱パーライト事業部資源部長

〒140-8584 東京都品川区大崎1-11-1

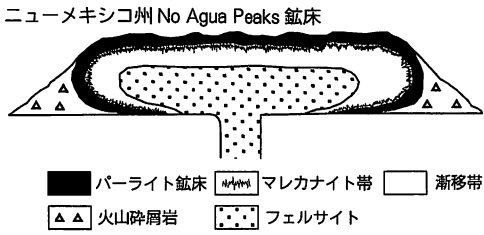
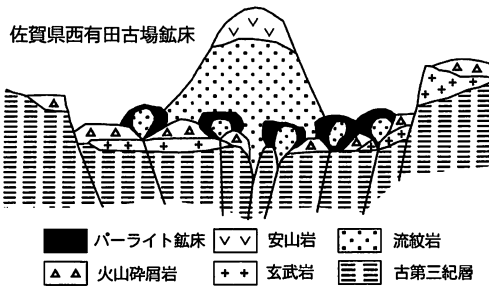


図1 パーライトの産状模式図<sup>3), 4)</sup>

や大陸での火山活動の場に賦存する。またアイスランドのように海洋底拡大の中心部での火山活動にもその形成が関係している。米国、ギリシャ、トルコ、イタリア、日本等はパーライト資源主要産出国である。このほか中国、フィリピン、カナダ、メキシコ、エルサルバドル、アルゼンチン、オーストラリア、ニュージーランド、南アフリカ、ハンガリー、ブルガリア、チェコスロバキア、トルコ等に分布する(図2)。

北米では、ロッキー山脈から西海岸にかけて広く分布する。米国では10鉱山が稼行しており、ニューメキシコ州のタオス地域のNo Agua Peaks鉱床、アリゾナ州のPickett Post Mountain鉱床、ネバダ州のCaliente鉱床、オレゴン州のDooley Mountain鉱床が代表的資源である。カナダではブリテッシュ・コロンビア州のAurun鉱床があるが、現在稼行されていない。またBurn Lake等にも分布している。米国、カナダのこれらの資源の分布する火山帯の南方延長のメキシコでは、Dimesa鉱床が稼行されている。エルサルバドルでは、エル・ロザリオ鉱床等国連開発計画によって探査され資源の賦存が確認されている。しかしまだ稼行に至っていない。南米のアルゼンチンでは、ポリビアとチリの国境付近のアンデス山脈中にSalar de Pocitos鉱床があり、採掘されている。

ギリシャは、ヨーロッパにおけるパーライト資源の最大保有国であり、いわゆる西側ヨーロッパの最大生産国である。アエゲアン島などにKos, Kimolosなどを含む多くの鉱床があり、採掘されている。ミロス島がパーライト生産の拠点となっている。イタリアでは、特にホンザ島、リバリ島にパーライト資源が分布し、稼行されている。トルコでは、アナトリア半島全体にわたり分布し、莫大な資源を保有している。ベルガマ地域など西部に採掘中の鉱山および生産拠点を有している。

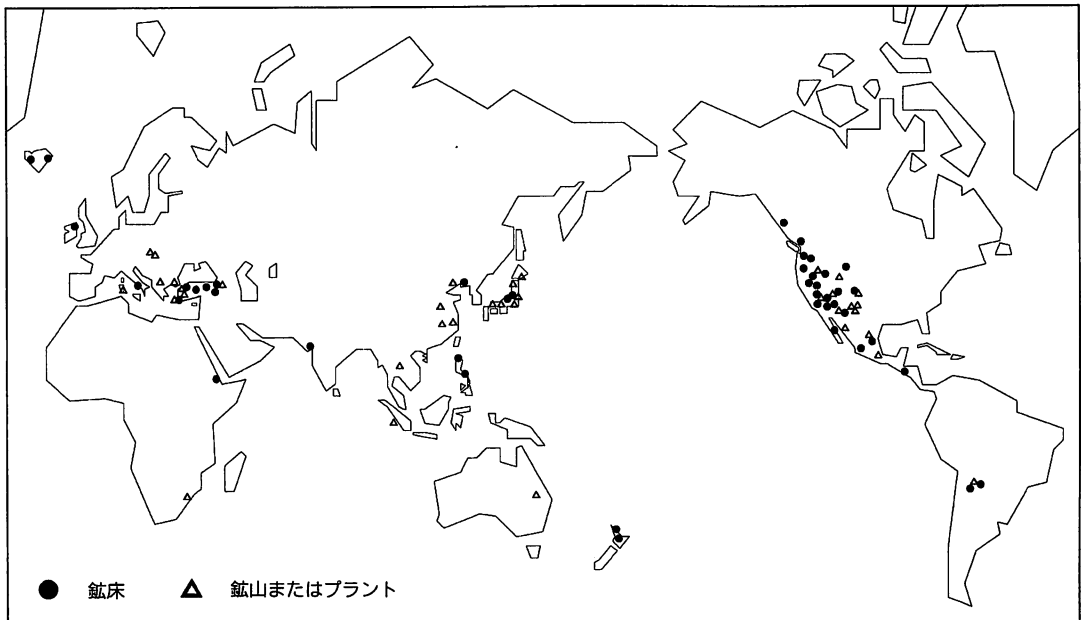


図2 パーライト資源の分布

旧ソ連、東ヨーロッパ諸国も多数の資源国を有しているが、社会主義時代の影響と市場経済への移行にともなう混乱により、その実態は不明瞭である。アルメニアのBorotan、ウクライナのBeregovskが生産の中心となっている。アルメニアではアメリカ企業が進出し、精石生産を行っている。このほかハンガリーに多数の鉱床が分布し、チェコスロバキア、ブルガリアでも資源が確認されている。しかし、現在採掘されている鉱山は少ない。ヨーロッパでは、このほかアイルランド、アイスランド、フランス、ドイツにもパーライト資源が知られており、一時採掘された鉱床もあるが、多くは経済性が低い未開発鉱床である。

アジア地域では、太平洋沿いに分布が知られている。中国では東部域にパーライト資源が分布しており、可南省、浙江省、安徽省、吉林省、内モンゴル自治区がその産出地であり、稼行されている。フィリピンでは、ルソン島のレガスピ市に鉱山があり生産されている。このほかオーストラリアでは、クィンズランド州のNuminbah鉱床、ニュージーランドではKenlieth鉱床が採掘されているが、鉱床自体少ない。

2.3 日本の資源

日本では、火山地帯にパーライト鉱床が多数分布<sup>1)</sup>しており、代表的鉱床は、北海道奥尻、秋田県米内沢鉱床、福島県喜多方鉱床、長野県和田峠鉱床、兵庫県美方、大分県姫島鉱床、佐賀県山内鉱床等である(図3)。

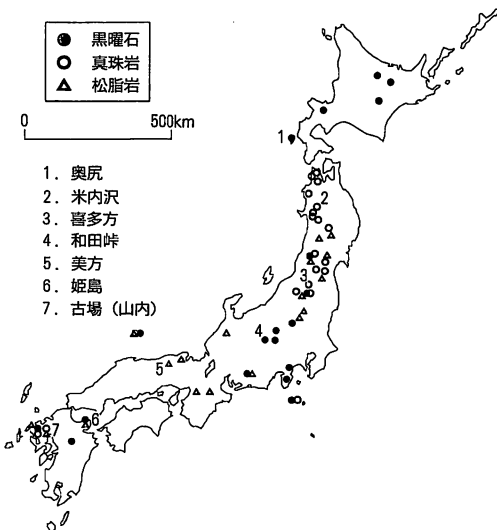
喜多方鉱床は、第三紀中新世の凝灰岩や玄武岩を被覆して流紋岩が噴出しており、パーライト鉱床を形成

している。米内沢鉱床は、第三紀中新世女川層中に侵入した流紋岩を取り囲んで真珠岩が発達している。和田峠鉱床は、第三紀の噴出による流紋岩類を覆って安山岩類が発達しており、流紋岩類は、溶岩と凝灰角礫岩が互層状をなし、溶岩の一部が層状の黒曜石を形成している。姫島鉱床は、第三紀中新世後の地層上に火山岩類の噴出がみられ、溶岩中に黒曜石を産出する。山内鉱床は、第三紀中新世の黒雲母流紋岩の溶岩ドームの噴出急冷却部に真珠岩がドームを覆って賦存している。これらの鉱床の多くは、現在採掘されている。

2.4 資源量

第三紀中新世から第四紀洪積世頃の酸性火山岩の分布がパーライト資源の広域的ターゲットとなる。酸性火山岩分布地域の構成火山岩類の広がり、形態、火道の存在、累帯構造、岩質、組織等の調査がパーライト鉱床の探査に要求される。さらにパーライト鉱床の連続性確認と地表下での岩質の変化を把握するため、トレンチやコアボーリングが行われる。パーライト鉱床は経済的理由により露天掘採掘であるため、ボーリングの深さは50~60mが一般的である。

世界のパーライト資源量は原石ベースで約8億トンと推定されている。米国では50百万トン、日本では10百万トンの保有鉱量がある<sup>3)</sup>(表2)。現在の生産量から見れば、枯渇する心配のない資源であり、日本でもほぼ自給自足されている。しかし、マーケットとパーライト鉱床の賦存とが近接していることが、資源開発を可能とする重要な条件であり、かつ用途に応じた品質を有していることも必要な条件となる。したがって資源量は莫大にあるものの、条件を満たせる資源は限定される。



- 1. 奥尻
- 2. 米内沢
- 3. 喜多方
- 4. 和田峠
- 5. 美方
- 6. 姫島
- 7. 古場 (山内)

図3 日本のパーライト資源の分布<sup>1)</sup>

表2 主要資源国の保有鉱量と精石生産量<sup>3), 7)</sup>

国別	保有鉱量 百万トン	推定生産量 千トン
米 国	50	706
ギリシャ	50	425
トルコ	30	175
日 本	10	200
イタリア	5	6
中 国	100	300~500
旧ソ連	500	350~600
メキシコ	5	40
その他	40	300~350
計	790	2500~3000

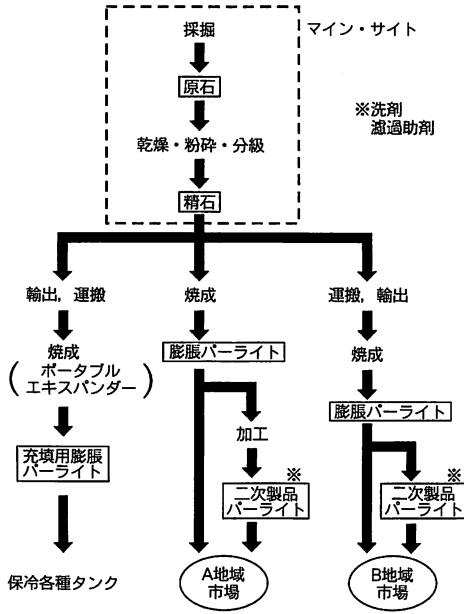


図4 パーライトの生産工程

### 3. パーライト工業の現状

#### 3.1 生産工程

パーライトの生産は、採掘、乾燥・粉碎・分級、焼成の工程に区分される(図4)。パーライト原石の採掘は、時に発破も必要とされるが、ふつうブルドーザー、パワーショベルでの採掘が可能である。可採率を高めるため鉱床の形態の正確な把握を行い、選択採掘を可能とするための品質管理がなされなければならない。採掘された原石は、ドライヤーによる熱風乾燥(200~500℃)か自然条件に恵まれれば天日乾燥され、粉碎と分級によりパーライト精石が生産される。分級により、各サイズ毎にバランスよい需要があれば、歩留まりのよい良質原石である。なお精石生産は鉱山に近接した場所が一般的である。精石は、マーケットに近い場所で焼成され、膨張パーライトが製造される。これは、精石の容積が焼成により数倍~20倍に膨張し、膨張パーライトの遠距離輸送はコストを増大させるためである。パーライトの焼成炉は、水平回転炉、静置式立型炉および間接加熱炉がある。精石の特性と製品の種類により適した炉が使用される。焼成方法は一般に200~500℃で予熱し、900~1100℃で急加熱する。用途に応じて、精石をブレンドする。また、LNG(液化天然ガス)、LPG(液化石油ガス)タンクの低温断熱材として膨張パーライトを大量に使用する場合

表3 パーライトの主要用途

分野	用途
建築用材料	コンクリート、モルタル、ルーフトルタル、吹き付け用骨材、鉄骨耐火被覆用骨材
加工用材料	ボード(パルプセメント、石膏、炭酸マグネシウム)木毛セメント板、繊維壁用材、塗料、吸油(流出油吸収剤)洗材
保冷用材 断熱用材	LPG・LNGタンク、液体酸素等各種タンク保温、保冷板
土壌改良材	草花育苗栽培、公園、グリーンベルト肥料増量剤
炉過助剤	清澄炉過(果汁等)、一般炉過(排水処理)、高粘度難炉過(工場排水)

等の大規模な断熱工事では、シルブリコ工法(現地発泡工法)が適用される。これは、かさ密度0.04~0.06g/ccという軽量物の遠距離輸送のデメリットを解決するために考案された方法である。現地でポータブル・エキスパンダーにより精石を膨張させ、冷却して充填部に空気輸送する<sup>9)</sup>。

#### 3.2 用途

パーライトの工業用途は多様である(表3)。建築用材料としては、軽量、耐火、断熱、吸音などの膨張パーライトのすぐれた特性を活かし、セメントに混合させパーライトモルタル・コンクリート、ルーフトルタルとし、広く使われている。また加工用材料としては壁材、塗料等が一般的である。パルプセメントや石膏スラグおよび繊維に膨張パーライトを混入させると軽量で熱に強い加工性に富んだ壁材となる。膨張パーライトを混入した塗料は軽量で防音性の効果を発揮する。保冷充填材として、LPG、LNGの貯蔵用、低温二重殻タンクの殻に膨張パーライトが使用されている。土壌改良や調整資材として、膨張パーライトの土壌への混入により通気性、断熱性、化学的安定性をもった土壌となり、園芸作物、公園など緑地帯の造成に広く利用されている。炉過助剤は、膨張パーライトを粉碎して製造され、水の浄化、排水処理のほか医薬品、果汁、糖類などの精製工程にも利用されている。

パーライト原石の相違により用途が幾分異なる。黒曜石からの膨張パーライトは強度に優れ、吸水性が低いので建築材に適している。真珠岩からの膨張パーライトは、あらゆる用途に向いている。とくにLPGなどの充填断熱材や土壌改良材に利用される。松脂岩からのものは強度に優れており、建築材に使われている。膨張パーライトの粒子サイズによっても用途が異なる。

表4 パーライトの主要生産国の精石生産推移<sup>7)</sup>

国	1993	1995	1997
	千トン	千トン	千トン
米 国	569	700	706
ギリシャ	350	431	425
トルコ	148	171	175
日 本	200	200	200
イタリア	65	60	60
メキシコ	35	34	38
ハンガリー	80	151	150
計	1447	1747	1754

土壌改良材や吸油材、コンクリート用には粗粒が、モルタル用には中粒が、塗料、炉過助材には細粒が利用される。

### 3.3 市場

膨張パーライトの輸送コストが高いため、国際間のパーライトの貿易対象は、パーライト精石である。ギリシャ、イタリア、トルコの精石はヨーロッパに輸出される。アムステルダムがパーライト精石の集荷基地となっている。米国は、資源は豊富にあるものの東部域にパーライト資源がなく、内陸輸送コストが高いため、東部域の需要に対して14万t(1998年)ギリシャより輸入している。しかし、西部域では逆にカナダに輸出している。日本では粒度バランス調整のため不足する粒度の精石を補充用として、一部中国などから輸入している。しかし今のところ需要を満たす供給力をもっており、市場も国内にあり精石生産地と消費地が比較的近接している。

一般にパーライト工業は、精石の生産と膨張パーライトの生産および市場が同一経済圏や国内にある地域産業である。生産地から市場までの地理的に近いことが要求される産業である。また、近代工業化とともに需要が増大しパーライト市場が形成されてきている。したがって工業化されていない国では需要がほとんどない。

世界の精石生産量は中国、旧ソ連など正確な生産量が公表されていない国および生産量の少ない国を除くと、180万トン<sup>7) 9)</sup>(表4)であり、ヨーロッパ、米国、日本が生産国であり、かつ中心的市場となっている。米国では10鉱山で精石が生産され、全国に分布する焼成プラントで膨張パーライトが製造されている。主な需要は、建築用材料が70%、土壌改良用資材が10%、炉過助材9%である<sup>9)</sup>。日本では建築用材料が50%以上を占め、土壌改良資材25%、次いで炉過助材、保温保冷用である。

世界のパーライトの売上規模は、統計的データがなくよくわかっていない。膨張パーライトベースで世界では約1000億円程度の市場であり、日本では約150億円程度といわれており、小規模である。需要量の増減は各国の景気動向にも左右されるものの、大局的には工業化の進展とともに市場は確実に拡大している。

### 4. パーライト工業の課題と将来

パーライト工業の特徴は、①資源は豊富であるが、市場との地理的位置が開発を左右、②原石の品質・特性が用途を規定し、用途は多種、③原石の分級により、サイズ毎にバランスをもった需要、④膨張パーライトの遠距離運搬は不利で消費地と焼成プラントは近接、などである。

このような特徴をふまえ、パーライト工業の発展にとっての課題は、競合品との競争力、物流方法、原石の品質管理、用途開発、環境対策、生産コストの削減などである。

パーミュキュライト、軽石、火山灰、ガラス繊維などは、建築材料や断熱材料としてパーライトの競合製品である。また珪藻土や珪砂は炉過助材としてパーライトの代替品である。品質、性能より低コストが要求された場合、これらの競合品、代替品が利用されることになる。したがって生産、物流コストの低減が競争力を強化させる。膨張パーライトの物流は、バルク輸送などの改善がなされてきている。しかし、総コストの20%程度を物流が占めており、積込、物流方法についてさらに合理化が要求される。原石の品質が製品の歩留まり、用途を左右するため、鉱山での原石のきめ細かい品質管理が効率的生産に結びつく。また、用途開発がパーライトの市場を拡大させている。競合品との特性の比較研究やパーライトの特性および新用途の技術データの収集が用途開発のベースとなる。粉砕・焼成工程で発生する微粉物の用途開発も課題である。焼却炉にパーライト精石の微粉末を入れダイオキシンなど吸着させる研究も行われている。なおパーライト生産における環境問題はほとんど生じていない。しかし、露天堀による自然環境破壊防止、剥土処分地の確保、採掘跡地の緑化保全など重視しなければならない。また生産コストの中で、焼成のためのエネルギーコストの占める比率は高い。パーライトの発砲(膨張)のための焼成炉は簡素であり、その基本構造は変わっていない。エネルギーコストの節約の視点から、炉の改良や焼成方法自体を検討する必要がある。

パーライトの需要予測に関して、年率3～4%成長が見込まれているものの、パーライト工業が地域産業の性格が強いため、精度の高い数値はない。精石の生産量推移から(表4)、各国の成長率に差があるものの、全体として最近では生産量の増加は認められない。これは、主要市場であるヨーロッパ、米国、日本が工業国として成熟しており、人口増加も変化が小さくなっているためである。ヨーロッパや日本の景気の低迷もその要因となっている。

しかし、主要用途である建築材料において、現在以上に、断熱、遮音、防火、軽量性といった特性が建築仕様に要求されてきており、パーライトのこの分野での成長の可能性は大きい。日本では、壁材の70%以上にパーライトが使われている。また省エネルギーへの意識が高くなってきており、パーライトを使用した建築材の断熱、保冷、保温効果は、エネルギー節約型の一般需要の増大とともに、パーライトの使用率は今後高くなっていくと考えられる。さらに環境への規制が厳しくなってきており、環境への配慮は工業生産だけでなく一般生活においても不可欠である。したがって、パーライトの炉過助剤としての浄化、排水処理への利用範囲は、今後さらに拡大していくものと期待されてきている。また食品工業、化学工業などの分野で、高品質の製品が要求されてきている。パーライトの濾過特性は、精製工程における品質改善の有力素材として、その役割は高くなってきている。農業分野のパーライトは競合品との競争が激しい。しかし、パーライトの優位性が確保されれば、需要は増大していくといわれている。また、パーライトは用途開発段階の素材としての可能性を充分もっており、まだ成熟商品とはいえない。したがって、例えば超軽量など新用途の開発は、パーライトの特性の研究とともに進展していくことが予想される。成熟化した工業国でも用途開発により市場の拡大は期待できる。また、現在アジア諸国の景気後退とともに工業化の促進が停滞しているが、今後工業化の進展とともにアジアのパーライト市場は形成されていくと考えられる。

## 5. おわりに

パーライト工業の歴史はまだ約60年弱であり、日本は40年に過ぎない。歴史の浅い工業である。パーライトは、近代工業化とともに生み出された製品であり、競合品も多い。また、その市場規模はまだ小さい。しかし、パーライトの特性は、現代社会が要求する省エネルギー、環境保護、“軽小短薄”にミートしており、これらに関係した素材として将来性を有している。アジア、中南米での市場はほとんどない。国民総生産力の成長とともに、パーライト市場形成の可能性は高い。巨大な新規市場が潜在している産業である。当面資源枯渇の懸念はないものの、市場の拡大とともに市場に近い適地での、用途を満たす品質をもつ資源の獲得が必要となる。パーライト工業が抱える課題を克服しながら発展していくものと期待される。

本稿では、パーライト資源および工業の現状と将来を概括した。21世紀の社会を支える資源として、パーライト工業の動向に今後も注目していきたい。

## 参考文献

- 1) 岡野武雄; 軽量骨材資源パーライト, 地質ニュースNo. 94, P.12~19 (1972)
- 2) 日本建設機械化協会; 骨材の採取と生産, P.433~436, 技報堂 (1975)
- 3) 中井完; 我国パーライト工業の現状と展望, エネルギー・資源, Vol.13, No. 3, P.63~68 (1992)
- 4) Richard, O. Y. et al.; PERLITE, Industrial Minerals and Rocks, P.735~749, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc (1994)
- 5) 山田正春; 低温断熱材として脚光を浴びるパーライト, 地質ニュース, No.246, P.10~14 (1975)
- 6) Arthur, C.M; Perlite, Mineral Facts and Problems, (1985)
- 7) Wallace, P. B; PERLITE, U. S. Geological Survey - Minerals Information (1997)
- 8) Wallace, P. B; PERLITE, U. S. Geological Survey (1999)
- 9) U. S. Geological Survey; Perlite, Mineral Commodity Summaries (1998)