

石灰石鉱業の現状と課題

牧 雄一郎¹⁾・松本 仁之²⁾

1. はじめに

近年の宇宙や地球、惑星等の誕生に関する研究の進歩は目覚ましい。これに伴ってこれらを扱うテレビの科学番組も多くなり、一般の興味や認識も深まっていることは大変喜ばしいことと思う。

地球上の最古の石灰岩は31億年前(アフリカ産)のものとして知られている。従って、生命と石灰岩のつきあいは、灼熱の原始地球の大気中に大量に含まれていた二酸化炭素が、石灰岩に姿を変え始めたとき(30億年以上前)から始まることとなる。

宇宙の初めから現在までが200億年、地球と月が誕生してから46億年、現在使用されている石灰岩は古生代～中生代にかけて形成されたものである。これらを人類200万年の歴史から見れば人類の文明文化というものは、広漠たる宇宙全体の歴史に比べると一瞬の出来事に過ぎない。

古代文明を築き、現代文明においても重要な基礎資材であり続けている石灰石(4,500年前頃から)とセメント(2,000年前頃から)の歴史も、46億年の地球の歴史から見れば、これもまた同様に一瞬のまばたきに過ぎない世界の話となる。

ひところ宇宙の初めから現在までの2百億年を圧縮して一年に割り振った「宇宙カレンダー」が流行った。つまり、宇宙の始まりを一月一日(元旦)とすると銀河系が出来たのが三月上旬にあたり、地球と月が9月中旬に、その地球上に魚類が出現したのは9月19日で、最初のヒトが現れたのは、なんと大晦日の午後十時半になる。それから現在までの約2百万年を残りの90分に押し込めると最初の人類の文明が誕生したのは、古代オリエントの農耕技

術が発達したときとして、今から8,000年前だから、除夜の鐘の21.6秒前となるというものである。

しかし、無限大の宇宙に点在する無数の星群の中で、生物が棲息するのはいまのところわが地球だけである。現在、世界の人口は60億人とされているが、この約25%はカルストから供給される水によって生活していると推定されており、ここにも人間と石灰岩との深い関係がある。地球は石灰岩の星とさえ言われる所以であろう。

石灰岩は古代、中世において建築文明や芸術の素材として極めて重要な役割を果たした。一方、産業革命以降ポルトランドセメントが製造されてからは近代的な石灰石使用の歴史が開かれることとなり、石灰石鉱業の黎明が訪れることとなる。

ここではこのような歴史を踏まえ鉱業発展の歴史を辿りつつその現状と課題などについて述べてみたい。

2. 石灰石鉱床～鉱床分布と稼行状況～

世界の炭酸塩岩の分布の概要は第1図に示されている。

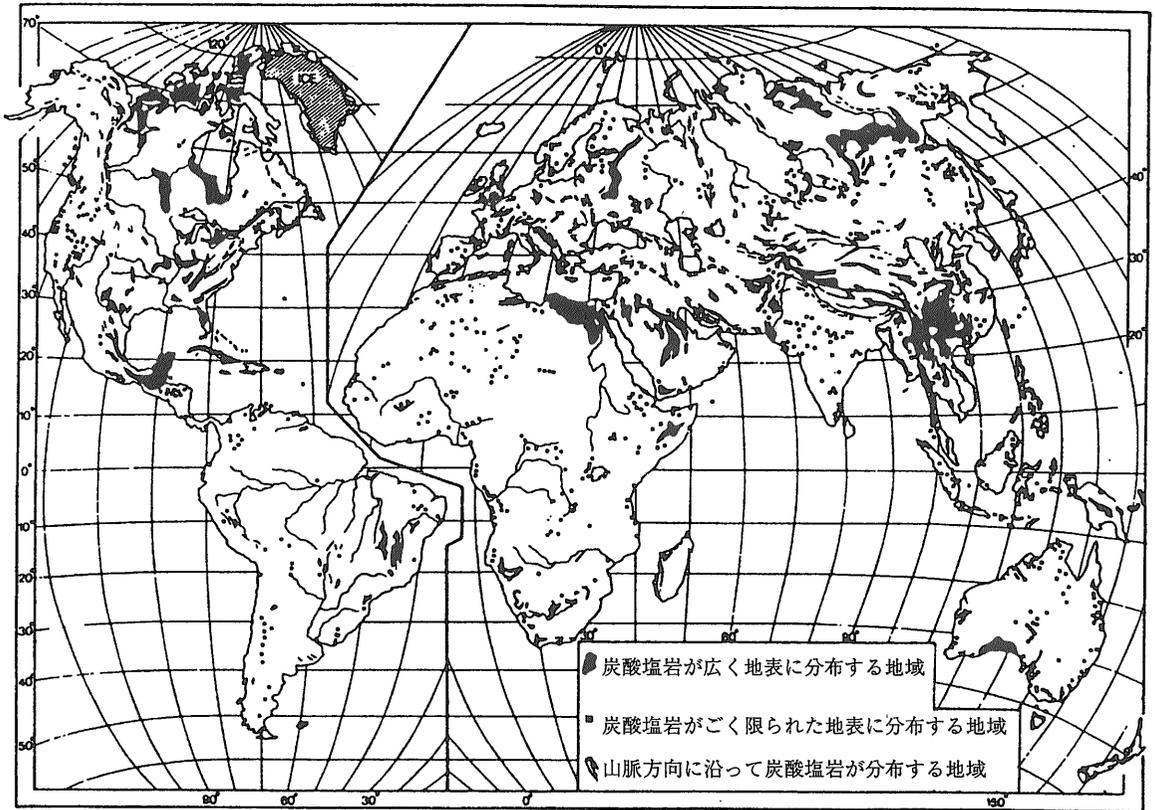
世界の地表面における炭酸塩岩の分布面積は陸地面積のおよそ12%であろうと推定されており、北半球での分布面積が大きいのが特徴となっている。

また、世界の石灰石の生産量並びに国別ベスト10は第1表に示す通りとなっている。

日本の石灰石鉱床の分布は第2図に示されている。また、日本の石灰石の地質時代別分布図は第3図に示されている。

1) 石灰石鉱業協会(専務理事)
2) 石灰石鉱業協会(技術部長):
〒102-0074 東京都千代田区九段南2-1-36(青葉第2ビル)
TEL 03-3237-8471 FAX 03-3237-9947

キーワード:日本の石灰石鉱床、石灰石の用途、石灰石の品質、石灰石鉱業の変遷、石灰石鉱業の課題



第1図 世界の炭酸塩岩の分布図. Ford, D. and Williams, P. (1989)より作成.

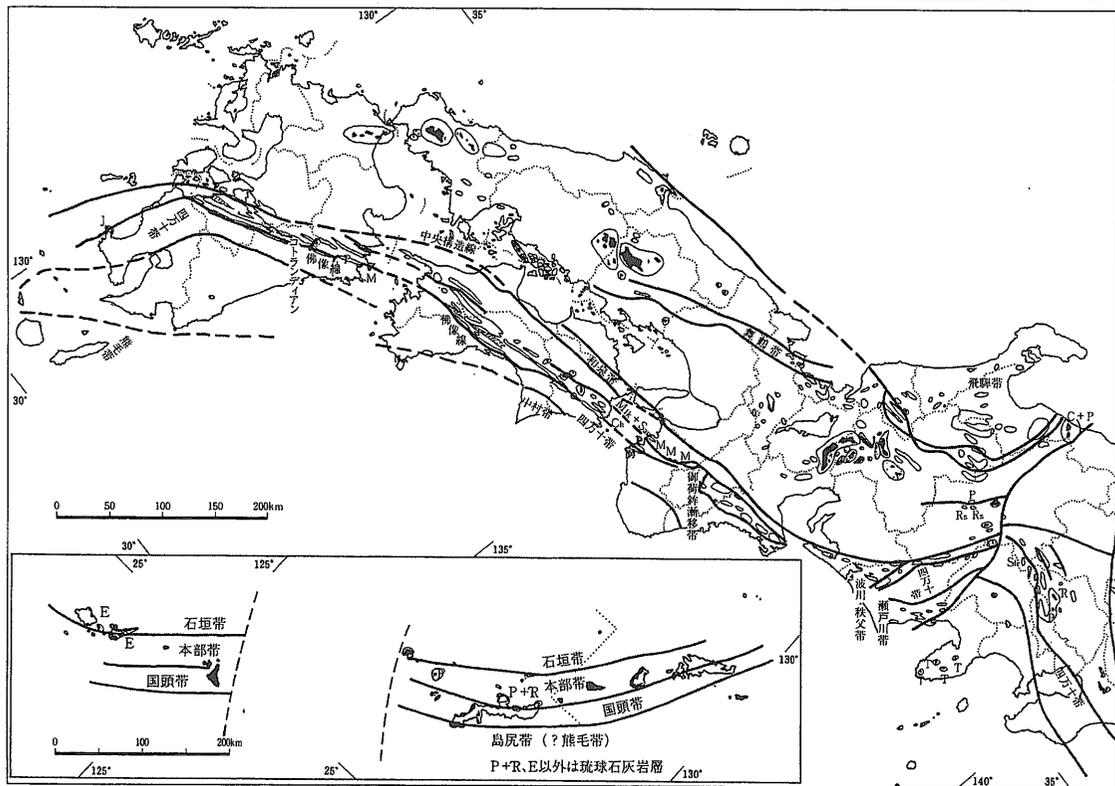
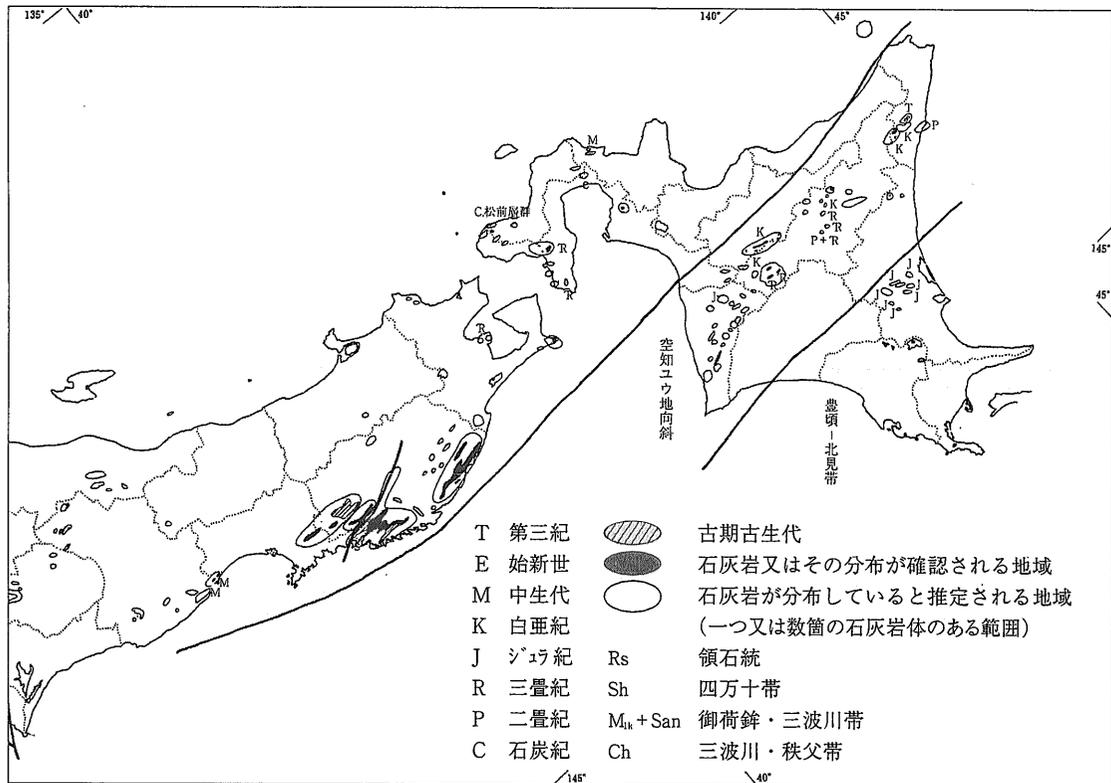
第1表 世界の石灰石生産量. (単位:千トン)

	国名	1991	1992	1993	1994	1995
1	アメリカ	655,440		711,000	788,000	801,000
2	中国	317,250	386,050	459,370	523,940	553,330
3	日本	206,840	203,850	200,460	202,480	201,090
4	イタリア	120,000	125,000	120,000	120,000	120,000
5	イギリス	94,100	89,100	93,930	106,830	97,200
6	インド	71,020	75,170	82,100	86,200	90,000
7	韓国	59,220	65,450	76,890	28,810	87,230
8	ドイツ	58,110	63,000	59,900	62,270	60,000
9	ブラジル	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000
10	ロシア		89,440	71,540	54,400	53,940
	世界の合計		2,960,000	3,140,000	3,070,000	

米国地質調査所 (1995, 1996), Minerals Year Book より作成.

石灰石鉱床の生成時代は、古生代シルル紀から現代も生成しつつある珊瑚礁のものにまでわたっている。しかし、鉱山として稼行されている大規模

な鉱床は古生代石炭紀・二疊紀・三疊紀に集中している。ジュラ紀鳥の巢層にも石灰岩層は発達するが、大きなものは僅かである。白亜紀のオルビト



第3図 日本の石灰石の地質時代別分布図。

第2表 古代世界遺産と建材等の関係。

遺 跡 名	建造時期	建 設 材 料
エジプトのピラミッド (ギゼー)	4500年前	石灰石
エジプトの大スフィンクス	4500年前	石灰石
アテネのパルテノン神殿	2430年前	石灰石
イタリアのポンペイ遺跡	2000年前	コンクリート
ローマのコロッセオ (円形闘技場)	1950年前	※コンクリート
ローマのパンテオン神殿	1900年前	コンクリート
チュニジアのカルタゴ遺跡	1850年前	コンクリート
◇ ドゥッガ遺跡	1800年前	石灰石とコンクリート
◇ エル・ジェム (円形闘技場)	1800年前	コンクリート

※セメントは古代セメント(ポゾラン質火山灰と消石灰を組み合わせたもの)を使用していた。(1800年代に入るとコンクリートはごく普通に使用されていた。)

三嶋清敬(1999～2000):「世界遺産に見る建材の歴史」(セメント新聞連載中)。

古代王朝が石灰石やコンクリートを使って構築した壮大な遺跡が、現在世界遺産として数多く残されている(第2表参照)。これらのうち特に1900年前に建造されたローマの巨大なパンテオン神殿の天井は、直径約43mの半球状のドーム構造で、これを支える壁は、厚さ6m、内径43m、高さ22mの円筒状を成していて、鉄筋を使わずに天井と壁が巨大なコンクリートの一体構造物となっている。これは現在でも使用できる状態で残されているとのことであり、古代ローマ人の技術の高さに驚かされる。

なお、1980年代に中国甘粛省秦安県の大地湾で約5,000年前の大型住居址が出土し、その床面は水硬性のセメント系材料を用いたコンクリートで築造されたと推定されていた。その後の研究によりこれは、^{りょうきょう}料^{じょうせき}強石と呼ばれる原石(炭酸カルシウムが主成分で粘土分なども含んだもの)を1,000℃程度の温度で焼成して得られた古代セメントを使用した古代コンクリートであったと考えられている。

1824年にJ. Aspdin(英)によってポルトランドセメントが発明されたが、これは、当時西洋諸国に広がった産業革命とあいまってその品質と知名度の高さで19世紀後半には全世界に普及した。以来180年近くの歴史を有している。

日本では、1875年(明治8年)に内務省土木寮

(建設省の前身)の手によりわが国最初のポルトランドセメントが東京深川において製造された。その後125年石灰石は特に戦後の荒廃した国土の復興に貢献するとともに、経済社会の発展と国民の生活向上に極めて大きく寄与してきたが、その重要さのゆえに昭和26年には鉱業法適用鉱物の指定を受けている。一方、石灰石は国内で自給できる唯一の天然資源として、常にその供給責任を果たしてきた。国内における石灰石の生産は、平成2年には年間2億トンに達し、米国、中国に次いで世界第3位にランクされ、その性質を活かしてセメント、鉄鋼を始め土木建築、タンカル、化学原料用その他各方面に広く利用されている。

特に動力変成作用や熱変質作用を受けて形成された白色高純度結晶質石灰石は「寒水石」とも呼ばれ、大理石として、また粉碎して重質タンカルとして製紙、塗工用等特殊用途に使用される。

タンカルとは炭酸カルシウムの略称であるが、一般にタンカルと言えば石灰石、ドロマイト(苦灰石又は白雲石)等を原石として製造された微粉末で、農業用、工業用に使用されるものの総称である。

タンカルは大きく分類すれば、重質タンカルと軽質タンカルに分けられる。

重質タンカルは石灰石等をクラッシャで破碎した後、更に各種ミルで微粉碎したもので、白色度と

第3表 ポルトランドセメントとその原料の化学組成(%)

	強熱減量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₂	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	合計
ポルトランドセメント	0.6	23.1	5.0	3.0	63.8	1.6	2.0	0.4	0.5	100.0
石灰石	42.6	0.5	0.2	0.3	55.2	0.6	—	—	—	99.7
粘土	8.0	66.9	13.6	5.5	2.9	1.3	—	—	—	98.2
珪石	2.6	87.0	5.3	3.6	0.4	0.3	—	—	—	99.2

荒井康夫(1984):セメントの材料科学.

第4表 97年世界のセメントのベスト5. (単位:万吨)

	国名	生産高	国内需要	輸出高	輸入高
1	中国	49,200	① 48,500	② 900	
2	日本	9,600	③ 7,900	① 1,200	
3	米国	8,600	② 9,600		① 1,700
4	インド	8,300	④ 7,400		
5	韓国	6,000	⑤ 6,200		
	ギリシャ			③ 700	
	スペイン			④ 560	
	タイ			⑤ 550	
	マレーシア				② 630
	ドイツ				② 630
	シンガポール				④ 610
	香港				⑤ 360
	世界の合計	150,100	150,100		

セメント新聞(1999.2.11).

粒度に制約を受ける超微粉タンカルと、特に白色度の制約を受けない道路舗装用、その他に使用される普通タンカルに分けられる。

軽質タンカルは石灰石を焼成し、化学的操作によって製造される超微粉タンカルで普通品と膠質品に分けられる。

このほか、かき、はまぐり等の貝殻を微粉碎、水ひ、天日乾燥して製造する胡粉(平均粒度1.5~3μ)も一種のタンカルである。

石灰石生産量の約50%はセメント原料に使用される。しかしセメント原料としては、この他にアルミナ源やシリカ源として粘土や珪石(粘板岩、チャート)も不可欠である。

粘土の純度としてはSiO₂ 60~70%のものがのぞましい。セメント用粘土は、カオリナイト、ハロイサイト、モンモロロナイト、石英、長石などからなる。

粘土だけではSiO₂分が不足する場合には珪石などで補給する。

珪石は石灰石と同様に主として古生代~中生代の地層中に多く胚胎するが、粘土原料(特に粘板岩、頁岩等)は風化が進んだ、やわらかくて全アルカリ量(R₂O)の少ないものが好まれる。

第3表にポルトランドセメントの組成並びにその主な原料の化学組成の一例を示す。

97年世界のセメントのベスト5(第4表)

セメント協会がまとめた資料(セメント新聞1999.2.11)によると97年のセメント生産高が最も多かったのは中国で4億9千万トンであり、日本が2位で9千6百万トン。また、国内需要が最も多かったのも中国だが、それに次ぐのが米国で9千6百万トンであった。日本は輸出が1千2百万トンで世界最

第5表 石灰石の産業別用途.

1. 冶金					
(1) 鉄鋼	製鉄	製鋼	合金鉄	鑄鉄	
	↓	↓			
	高炉スラグ	転炉スラグ			
(2) 非鉄金属	浮遊選鉱	製錬			
		↓			
		金属カルシウム	金属マグネシウム		
		↓	↓		
		カルシウム合金	マグネシウム合金		
2. 窯業	セメント工業	ポルトランドセメント	高炉セメント		
	ガラス工業	ソーダ石灰ガラス			
	陶磁器・タイル	陶磁器・タイル素地, 釉薬			
	耐火物工業	ドロマイト耐火物	マグネシア耐火物	カルシア耐火物	
3. 一般工業	ソーダ工業	アンモニア・ソーダ法			
		電解ソーダ法			
	カーバイド工業	カルシウムカーバイド			
	海水マグネシア工業	水酸化マグネシウム			
	製糖工業	ビート糖・甘蔗糖			
	紙・パルプ工業	クラフトパルプ(カセイソーダ回収)			
	石油化学工業	プロピレンオキシド・エピクロヒドリン製造(鹼化)			
	[重質・軽質タンカル]	ゴム	プラスチック	塗料	印刷インキ
	[カルシウム化合物]	燐酸化合物(水酸アパタイト等)			製紙
		硫化カルシウム			
4. 建築・土木	骨材	粗骨材	細骨材		
	アスファルトフィラー	道路用タンカル(アスファルト合材)			
	建築用石材	大理石	テラゾー製品	寒水石	
	建築用壁材	左官用消石灰	ドロマイトプラスタ	石膏プラスタ	
	軽量気泡コンクリート建材	A L C			
	けい酸カルシウム建材	けい酸カルシウム板	けい酸カルシウム保温材		
	土質安定処理	石灰系土質安定処理材			
	静的破碎工法	静的破碎剤			
5. 農業・畜産	肥料	タンカル・苦土タンカル			
		石灰(生石灰・消石灰)			
		その他(石灰窒素, 過燐酸石灰)			
	農薬	石灰硫黄合剤, ボルドー液, 過酸化カルシウム, カゼイン石灰			
	畜産	飼料用タンカル			
6. 食品・医療	食品	食品加工			
		食品添加			
	医療	カルシウム塩注射液	錠剤	ギブス	
7. 水処理・公害防止	上下水道処理				
	中和処理	工場廃水・廃液	坑廃水	河川水	
	排煙脱硫	排煙脱硫用タンカル			
8. その他		乾燥剤	煉炭・豆炭	皮革	ゼラチン
					炭鉱用岩粉

石灰石鉱業協会(1997):石灰石の話.

第6表 石灰石の用途別品質要件.

鉄鋼用

用途	使用形態	化 学 成 分 (%)					粒度
		CaO	SiO ₂	MgO	S	P	
製鉄用	石灰石	54以上	1.0以下	0.5以下	0.01以下	0.03以下	20~45mm 焼結用 5mm以下
製鋼用	石灰石	54以上	1.0以下	1.0以下	0.01以下	0.03以下	10~30mm
	生石灰	95以上	0.5以下	0.5以下	0.02以下		10~30mm
フェロアロイ用	石灰石	54以上	1.0以下	0.5以下	0.01以下	0.005	10~30mm
	生石灰	95以上	0.5以下		0.05以下	以下	

カーバイド、板ガラス用

用途	CaCO ₃ (%)	SiO ₂ (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	P ₂ O ₅ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	サイズ
カーバイド	98以上	1以下	0.5以下	1以下	0.01以下	1以下	40~120 mm
板ガラス	97以上	0.3~0.6%	—	0.3以下	1以下	0.1以下	40~70 mm

工業用石灰規格(JIS R 9001)

種類	等級	酸化カルシウム (CaO) (%)	不純分 (%)	無水炭酸 (CO ₂) (%)
生石灰	特級	93.0以上	3.2以下	2.0以下
	1号	90.0以上	—	—
	2号	80.0以上	—	—

種類	等級	酸化カルシウム (CaO) (%)	不 純 分 (%)		無水炭酸 (CO ₂) (%)
			マグネシア (MgO)	ケイ酸, アルミナ および酸化鉄 (SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃)	
消石灰	特号	72.5以上	1.0以下	2.0以下	1.5以下
	1号	70.0以上	—	—	—
	2号	65.0以上	—	—	—

上記規格中、生石灰特級の品質を保証するためには、原料石灰石の不純分は1.8パーセント以下が必要である。同様に、消石灰特号用の石灰石は不純分2.2パーセント以下が条件となる。

吉田國夫(1992)：鋳産物の知識と取引。

大、米国は輸入が1千7百万トンで世界最大の輸入国であった。

また、参考までに1人当たりのセメント消費が最も多かったのは、ブルネイで約2千5百トン、次いでアラブ首長国が約2千トンであったとされている。

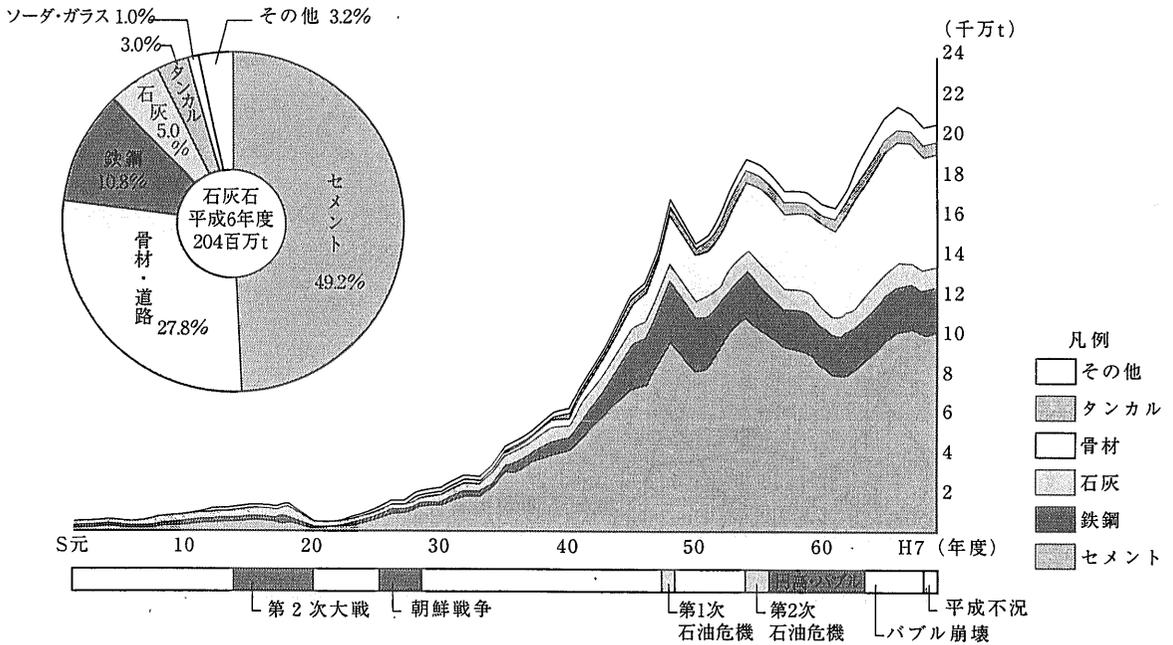
第5表に石灰石の産業別用途を示す。また第6表に石灰石の用途別品質要件等の一例を示す。

4. 石灰石鋳業(技術)の変遷

(1) 生産と需要の推移

◎生産(第4図参照)

石灰石の年間生産量は昭和初期の400万トン台から昭和18年には1,400万トンと約20年間で3倍に



第4図 石灰石の用途別構成比と出荷量の推移(「通商産業省資源統計」より)。

伸びた。その後、戦後の混乱期には400万トン台へと減少したが、昭和25年度には1,000万トン台に回復し、昭和38年度に5,000万トンを突破、さらに昭和40年代の高度成長期に入り旺盛な需要に支えられ昭和44年度に1億トンの大台を越えた。

昭和48年度には1億5,000万トンを突破したが昭和48年10月からの第一次石油危機による需要抑制により、昭和49年以降は生産量が低下した。昭和52年秋頃から政府の数次にわたる景気浮揚策により昭和54年度には1億8千5百万トンとなった。

しかし、昭和54年1月からの第二次石油危機後の需要低迷により昭和55年半ばから生産は低迷したが、その後の政府の緊急経済対策の効果が現れ、昭和63年に再び1億8千万トン台に回復した。以後生産量は順調に増加し、平成2年以降は2億トン以上で推移してきたが、最近再び減少傾向となり、平成10年は1億8千万トン台にとどまっている。

◎需要

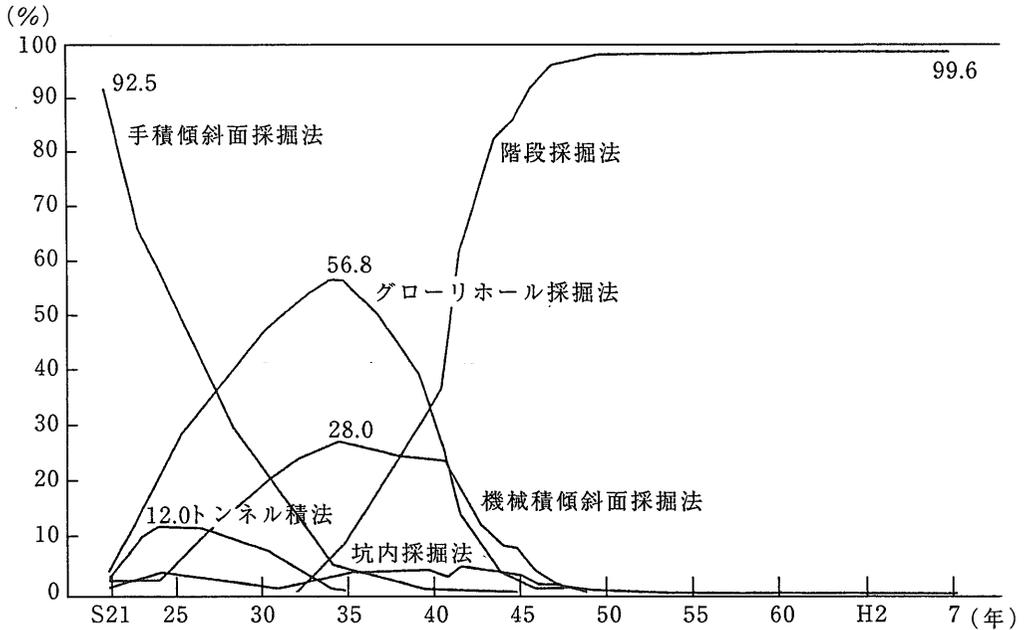
石灰石の用途別出荷量は戦前はセメント用41～46%、石灰用24～30%で鉄鋼用は10～12%であった。昭和20年度の戦災復興期の前半はセメント用と肥料用並びに建築用が大半を占め、後半はセメント用が急上昇し、昭和30年度は全出荷量の60%を占めた。

昭和30年代は経済成長期であり、セメント、鉄鋼用とも増え、昭和40年には両者で4,770万トンとなり、全出荷量の76%を占めた。砂利の枯渇に伴い、路盤材用に加えコンクリート骨材への進出により、土建用の出荷量は40年には420万トンであったが、逐年増加し、52年には2,510万トンと全出荷量の16%を占めており、セメント用に継ぐ需要先となった。タンカルは昭和25年までは農業用が主体であったが、最近では道路用(39%)、公害防止用(24%)、農業用(14%)となっている。

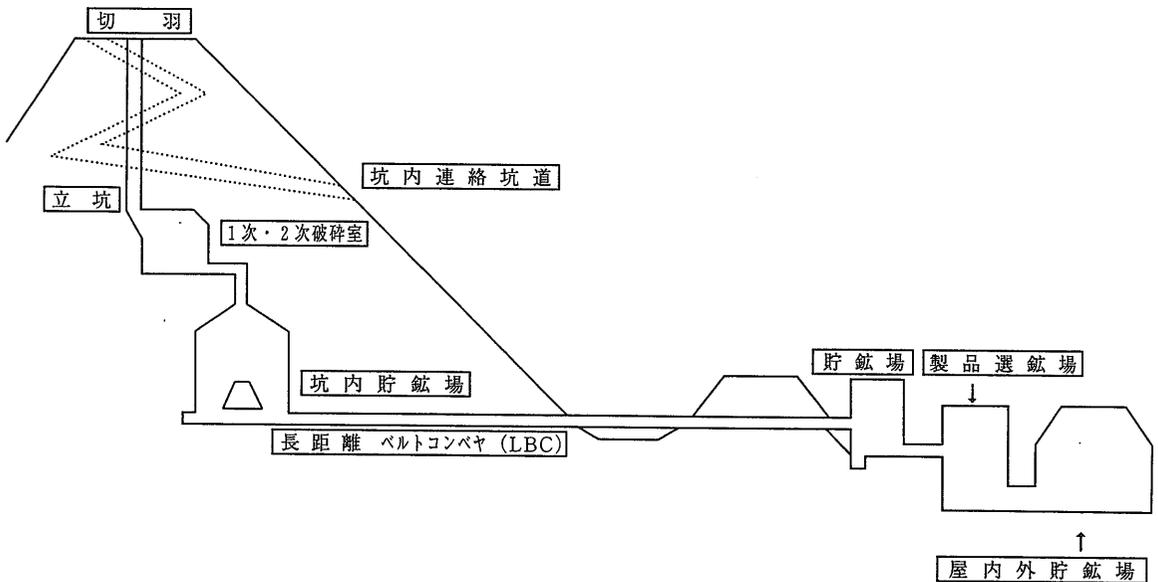
出荷量は昭和25年度に対し平成7年度は石灰(含カーバイド)が950万トンで4倍、タンカルが595万トンで20倍と飛躍的に増大している。

(2) 採掘法の変遷(第5, 6図参照)

わが国の石灰石鉱床は傾斜層で一般に急峻な地形の山岳地帯に発達しているものが多い。これらの石灰石を効率良く採掘、運搬するために傾斜面採掘法、グローリーホール採掘法が盛んに行われたが、採掘量が次第に増加するとともに、保安の確保も兼ねた方法として階段採掘法への転換が昭和35年ころから始まり、AN-FO爆薬の実用化とも相まって昭和40年代以降には採掘法の主流となった。当初はグローリーホールから変化したプル押



第5図 石灰石採掘法の変遷 (石灰石鉱業協会 (1996):「50年の歩み」より).



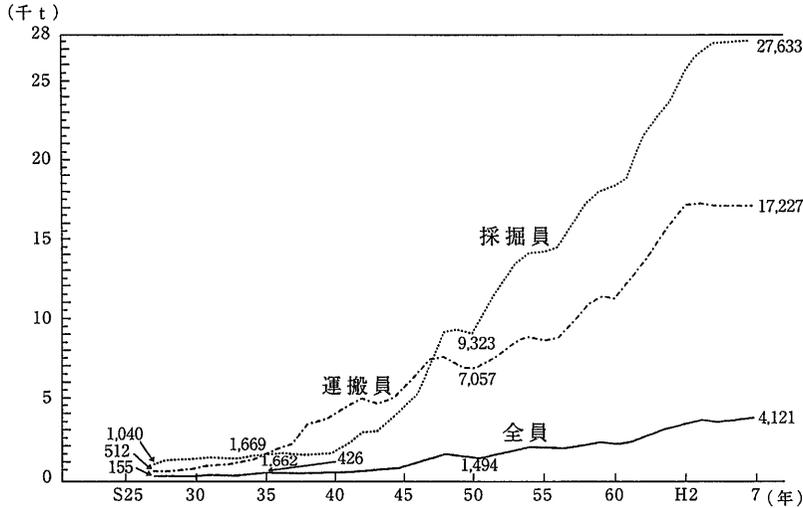
第6図 採掘・選鉱工程概念図 (石灰石鉱業協会 (1997):「石灰石鉱業の今後のあり方 (石灰石鉱業研究会中間報告)」より).

工法が主体であったが、現在は採掘ベンチの一角に鉱石運搬用の立坑を設け、それを中心に展開する立坑式階段採掘法がわが国独特の技術として発展、普及しほとんどの鉱山がこの方式を採用している。これにより、大型重機類の導入と合わせて大規模開発、大量生産を可能とした。

◎積込、運搬

昭和20年当時は手積、手押運搬が主体であったが、生産量の増加につれて徐々に機械積 (クローラ式積込機、パワーショベル)、トラック運搬に移行した。

昭和40年代の階段採掘法への切り替え後は更



第7図 石灰石鉱山採鉱能率(t/人/月) (石灰石鉱業協会(1996)：「50年の歩み」より)。

なる生産増に対応するために積込運搬用重機類が普及して、大型のホイールローダー、ダンプトラック、ブルドーザー等が切羽に導入されて、現在の積込、運搬方法の主流となっている。現在は100トン以上(120～180トン)のダンプトラックも稼働している。更に保安確保、コスト低減を実現するために大型ダンプトラックの無人走行システムの開発も進んで来た。

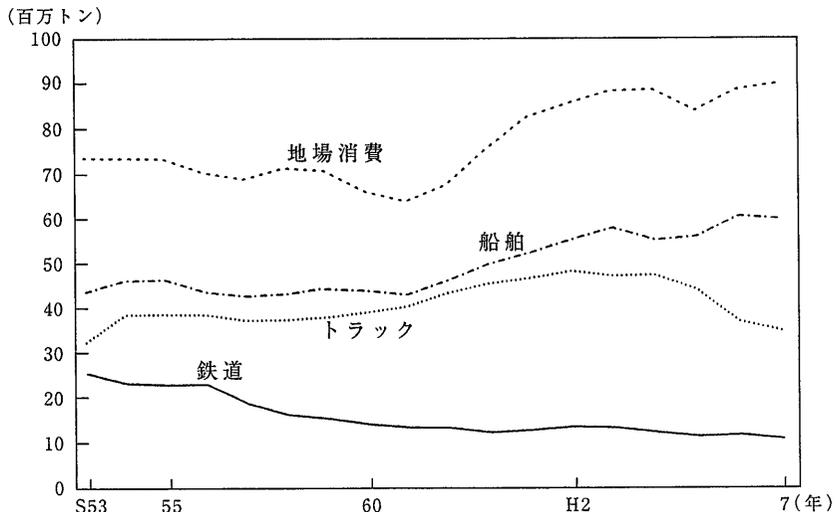
また、近年採掘切羽において破碎、選別を行うモービルクラッシングプラント(MCP)を導入する鉱山が増えて来ている。

◎採鉱能率(第7図参照)

昭和20年以降50年間の採鉱能率の伸びは著しい。特に階段採掘法が採掘法の主体となった昭和50年(約20年前)と現在とを比較すると、1鉱山1日平均実働人員は採掘員50%減、運搬員40%減、全員では45%減となり採鉱能率は採掘3倍、運搬2.5倍、全員で2.8倍になっている。

(3) 輸送方法の変遷(第8図参照)

わが国に於ては近年石灰石の需要量の増大に伴う大型化と、鉱山開発区域の奥地移行、粉塵・騒



第8図 石灰石機関別輸送量 (石灰石鉱業協会(1996)：「50年の歩み」より)。

音等の鉱害防止等の相反する厳しい要求に応えるべく種々運搬方法が検討されている中で、輸送方法としては長距離ベルトコンベヤ(LBC)の採用が特徴的かつ一般的で、2km以上のLBCが数多く採用され、原石や製品の輸送に使用されている。約20km以上のLBCも3鉱山で稼働している。

なお、特殊な方法としてはカプセルライナー及び2～3両連結トレーラートラックによる輸送がある。その他では船舶とトラックの輸送比率が高くなってきている。

鉱山からユーザーまでの輸送方法としては、いわゆる自工場向け等近距離の自家消費が45%を占める。なお、鉄道輸送は昭和40年代半ばまでは、石灰石輸送の主力であったが、コスト高となり輸送量が激減した。

(4) 鉱害防止

石灰石鉱山は鉱山保安法に定める鉱害防止に関する諸規定によって、その規則を受けている。鉱害防止の対象となるものは露天採掘場、表土堆積場、砕鉱場、か焼場等から発生する粉じん、騒音、振動、飛石、転落石、坑廃水、汚濁水、堆積物の崩壊等が主なもので、いずれも生活環境に関するものである。

これらの対策としては集じん機、散水施設の設置や発破方法の改善や防災設備の整備等により前向きな対応をして鉱害の防止を図って来ている。

石灰石鉱山では過去に、残壁の崩壊、表土堆積物の流出等があったが、大きい社会問題となるような鉱害は今日まで発生していない。

(5) 環境保全

自然公園法、森林法、文化財保護法等により開発区域が規制を受け、また規制を受けないまでも鉱害の防止と共に環境の保全には十分な配慮が求められている。

石灰石の採掘は大部分が露天採掘によるものであり、従って資源の開発と環境保全とは両立しにくい。両者をどう調和させていくかがこれからの資源開発の命題である。一方21世紀は環境の世紀といわれ、我々の業界にとっても環境問題への取組みの重要性がさらに高まるものと考えられる。

環境をめぐる諸問題の中では景観への配慮、採

掘跡地の的確な緑化、整備が不可欠であり、長大化して来ている残壁の管理も含め、これらに対応する技術開発が一層大切である。

(6) 協調採掘

膨大な需要量に対応し、終掘となる鉱山も現れてくるが、石灰石資源の安定供給の為には採掘区域の拡大、新規鉱山の開発等による資源の新たな確保が必要である。このためには先に述べたとおり、隣接鉱区間における協調採掘の推進が、保安の確保、資源の有効利用、能率の向上、更には環境保全の観点から多大の成果を挙げている。限りある資源を有効に採掘するための業界側の努力として更に一層の推進が必要である。

5. 業界の現状と課題

現 状

わが国の石灰石鉱業は、前述してきたように関係者のためまざる努力により、安全で高能率な採掘方法を確立し、安定した操業によって石灰石を供給してきた。年間2億トンのニーズは、今後も継続するものと一般に考えられている。しかしながら既存の石灰石鉱山の中には、長年の採掘により既に鉱量が枯渇してきたり、採掘残壁が長大化し、岩盤の安定性確保への対応が求められているケースも少なくない。

一方、この貴重な資源を永続的かつ安定的に供給することが我々に課せられた最大の使命であることからすれば、まず現在確保している資源をムダなく安全に採取する技術の更なる向上が重要である。加えて自然環境保全などの観点から各種規制を受け、鉱床はあっても新規開発は困難な状況である。

今後の課題

「資源」とりわけ「可採鉱量」の確保のためには、鉱床探査技術や適正な残壁規格の設計が大きな決め手となる。石灰石鉱山の残壁設計に当たっては、その形状や傾斜角は、可採鉱量と残壁斜面の安定性に大きく影響する。残壁に係る業界の自主基準「残壁の安定(ガイドライン)」は既に完成し、鉱山現場で活用している。しかし、例えば長年の採掘によ

り、切羽レベルが山麓レベル以下に低下した場合には、水平方向の初期応力の発生も考えられ、地下水の問題とも合わせて岩盤斜面に新たな影響を与えることも考えられる。石灰石鉱山を取り巻く環境は、刻々と変化し、今まで以上のきめの細かい現場管理が求められてきている。

採掘現場の地質環境の変化が岩盤斜面に与える影響をいち早く予測し迅速な対応を可能にする諸技術の確立が肝要である。これらに関しては現在、産・学・官の連携を深め鋭意取り組んでいる。

セメント原料としての粘土や珪石の確保についても石灰岩と同様の鉱山技術が必要とされている。地質工学や岩盤工学など幅広い技術や経験を身に付けた鉱山技術者の up to date な技術開発が強く求められる。

参考文献

浅賀喜与志(1999)：5000年前のセメントの再現について。(第53回セメント技術大会講演要旨)。

- 荒井康夫(1984)：セメントの材料科学。
 漆原和子(1996)：カルスト。
 Ford, D. and Williams, P. (1989)：Karst geomorphology and hydrology. Unwin Hyman, pp.601.
 桑木 務(1989)：ヨーロッパの哲学者たち。
 セメント新聞(1999.2.11)。
 石灰石鉱業協会残壁専門委員会(1992)：残壁の安定(ガイドライン)。
 石灰石鉱業協会(1996)：50年の歩み。
 石灰石鉱業協会(1997)：石灰石の話。
 石灰石鉱業協会(1997)：石灰石鉱業の今後のあり方(石灰石鉱業研究会中間報告)。
 石灰石鉱業協会(1983)：日本の石灰石。
 石灰石鉱業協会(1986)：石灰石の用途と特性。
 谷本親伯(1997)：石造文化財の保存～大スフィンクス修復保存学術調査～(地盤工学会誌, 第45巻第6号)。
 日本放送出版協会(1987)：地球大紀行。
 三嶋清敬(1999～2000)：世界遺産に見る建材の歴史(セメント新聞連載中)。
 U. S. GEOLOGICAL SURVEY：MINERALS YEAR-BOOK(1995, 1996) Vol. II, Vol. III.
 吉田國夫(1992)：鉱産物の知識と取引。

MAKI Yuichiro and MATSUMOTO Masayuki (2000)：Brief presentation of limestone mining industry in Japan.

< 受付：2000年1月5日 >