

ヘリウム資源問題 (その1)

福田 理 (海外地質調査協力室) ・永田 松三 (技術部)
Osamu FUKUTA Shozo NAGATA

1 まえがき

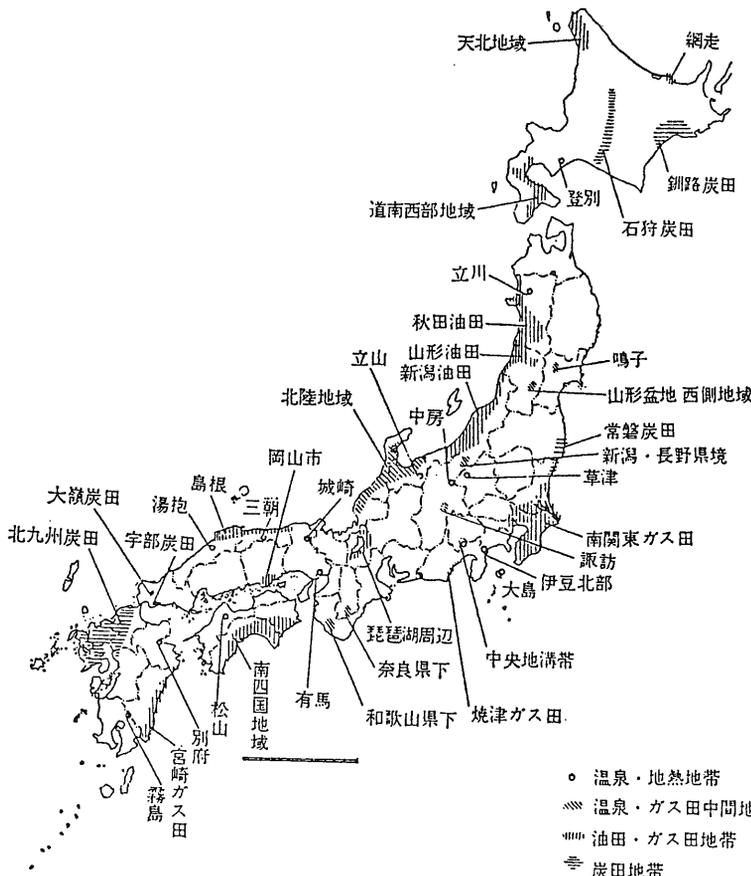
近年 代表的な貴ガスであるヘリウムは その名のとおりに貴重なものとなった。それは用途・需要の拡大によるところが大きいが 改めて資源問題としてとり上げなくてはならない理由は その著しい偏在に根ざしている。世界一のヘリウムの生産・輸出国であり 消費国でもある米国では 1958年に内務省によって長期貯蔵計画が策定され 鉱山局が実施に当たっているのに対して 全量を輸入に頼っているわが国では 昭和37(1962)年度から工業技術院地質調査所によるヘリウム資源調査5ヶ年計画が実施されただけである。しかも 種々の事情からこの調査も全計画地域(第1図)を網羅するに至らな

かった。

しかし 当所の天然ガスの調査・研究者は その後もヘリウムを念頭において業務を進めてきた。また わが国でヘリウムの経済的資源量を期待できそうな唯一のところである常磐炭田の沖合約38kmの磐城沖ガス田の開発が始まり 昭和59(1984)年2月から生産に入ることが公表された(武井 1982)。ヘリウム資源問題のご紹介をするにしても まさに機が熟した感がある。

2 ヘリウム元素

ヘリウムは原子番号2の元素で 周期表の0族元素(ヘリウム ネオン アルゴン クリプトン キセノン および



第1図
日本のヘリウム資源調査計画地域
(牧 1973)

表1 各希ガスの相対存在頻度

元 素	地 殻	宇 宙	陸域火成岩
全ヘリウム wt. %	8×10^{-7}	23	—
相対存在頻度	He原子当り	He原子当り	wt. %
ヘリウム	1.00	1.00	3×10^{-7}
ネオン	0.124	2.8×10^{-8}	7×10^{-9}
アルゴン-40	43.6	—	4×10^{-6}
他のアルゴン	0.175	4.9×10^{-5}	—
クリプトン	1.14×10^{-8}	1.7×10^{-8}	—
キセノン	1.1×10^{-4}	1.3×10^{-9}	—
ラドン	1×10^{-12}	—	1.7×10^{-14}

(COCKETT & SMITH, 1973)

ラドン)のなかでもっとも軽い(原子量 4.0026)。O族の6元素はいずれも常温・常圧で気体で他の元素と化合物を造らない すなわち化学的に不活性であると長らく考えられていたところから不活性ガス (inert gases) と呼ばれ またアルゴン以外は地表近くの存在量が僅かであるところから希ガス (rare gases) や貴ガス (noble gases) と呼ばれることもある。また O族の6元素の分子はすべて1原子からなっているところから これらを総称して単原子ガス (monatomic gases) と呼ぶこともひろく行われている。MENDELEJEFF, D. I. (1834-1907) が元素の周期表を作った当時は希ガス類は1つも発見されていなかった。本来の周期表では アルカリ金属で代表される強い陽性元素は第1族 そしてハロゲン元素で代表される強い陰性元素は第7族とされており後から次々と発見された希ガス類は両属の継ぎ目をなしているところから O族の欄が設けられたのである。原子構造からみると ヘリウムはK殻に2個の電子をもち それに対応する正の2電荷をもつ原子核がある。K殻はスピン(自転方向)の異なる2個の電子で満たされているから ヘリウムは化学的に不活性なのである。

ヘリウムには ^3He ^4He および ^6He という3つの同位体がある。左肩の数字は質量数 (mass-number) で 原子核中の陽子と中性子の数の和である。 ^3He および ^4He は安定同位体であるが ^6He は β 線を出して崩壊し 半減期は0.84秒とされている。

3 ヘリウムの歴史

1868年8月18日の皆既日蝕の際 太陽の紅炎スペクトルの中に ナトリウムのD₁線およびD₂線と一致しない新しい輝黄色の線が存在することが 地球上の異った場所で 6人の観測者によって独立に発見された。そのなかの1人がインドで観測していた JANSSEN, P. J. C.

表2 放射性崩壊系列

系 列	崩 壊 過 程	発生する α 粒子
ウラン系	$^{238}\text{U} \xrightarrow{\alpha} ^{234}\text{Th} \xrightarrow{\alpha} \text{(略)} \xrightarrow{\alpha} ^{206}\text{Pb}$	8 個
アクチニウム系	$^{235}\text{U} \xrightarrow{\alpha} ^{231}\text{Th} \xrightarrow{\alpha} \text{(略)} \xrightarrow{\alpha} ^{207}\text{Pb}$	7 個
トリウム系	$^{232}\text{U} \xrightarrow{\alpha} ^{228}\text{Ra} \xrightarrow{\alpha} \text{(略)} \xrightarrow{\alpha} ^{208}\text{Pb}$	6 個

であった。同年10月20日 LOCKYER, J. N. は太陽の彩雲中に3本の輝黄色線を観測し その1つが太陽スペクトル中の既知の吸収線のどれにも該当しないことを確認した。翌年RAYET, G. は水素やナトリウムとは別の元素に対応する新しいスペクトル線について述べた。1871年 LOCKYER は上述の新しいスペクトル線が新元素に相当するものであることを確認しそれが彼とFRANKLAND, E. がギリシャ語の太陽 helios にちなんでヘリウム (Helium) と呼んでいるものと同一であることを確めた。すなわち ヘリウムはまず太陽で発見されたのである。

1895年 RAMSAY, W. はノルウェー産の閃ウラン鉱 (cleelite) を加熱して得たガスのスペクトルを調べ その中に CROOKES, W. がヘリウムの線として同定した輝黄色の線を見出した。これが地球上におけるヘリウムの最初の発見とされている。同年 KAYSER, H. は大気中にもヘリウムが少量存在することを確認している。1905年 CADY, H. P. と McFARLAND は米国カンサス州から産する天然ガスを燃焼し 燃えない残ガスについて分析を行い そのなかにヘリウムが含まれていることを確認した。これらとは別に 1881年 PALMIERI はヴェスヴィアス火山の噴気孔の縁の固体状物質から得たガスを分光分析し LOCKYER と FRANKLAND が新元素ヘリウム発見の根拠としたスペクトル線を見つけている(和田・阿藤 1932)が これは地球上におけるヘリウムの発見とは認められていない。

4 ヘリウムの存在状態

ヘリウムは水素に次いで宇宙に多い元素である。すなわち それぞれ全物質の23%および76%を占め 他の諸元素を合せても1%ほどにしかならない。しかし両元素とも地球上には少ししかない。表1は地殻 宇宙 および陸域の火成岩中の希ガス類の相対頻度をまとめて示したもので 宇宙では水素に次いで多いヘリウムも 地殻にはわずかしかない。

地球上のヘリウムの成因は ウランやトリウムの放射

表3 希ガス類の空気中および天然ガス中の濃度

ガ ス	濃 度	
	空 気 中 vpm*	天 然 ガ ス 中
³ He	7×10^{-6}	1×10^{-6} vpm
⁴ He	5.24	0.2-8%
Ne	18.2	0-20vpm
Ar	9,320	0-0.9%
Kr	1.14	} 0-0.8vpm
Xe	0.086	
Rn	6×10^{-14}	

* 容量100万分率

(COCKETT & SMITH, 1973)

性崩壊によるものと考えられており その系列には表2のようなものがある(田中 1979)。 そのようにして放出された α 粒子はヘリウムの原子核であり 電子2個を捕獲して安定なヘリウム原子になるのである。

地殻中では希ガスの多くは火成岩中にあり その平均濃度の粗略の値は表1の最後列に与えられている。 おそらくヘリウムを除くと 工業鉱物中の希ガスの濃度は企業的回収するには低すぎる。 ヘリウムの記録された最高濃度はトリアナイト(thorianite)中の10.5cc/gである。 しかし いち早くヘリウムが抽出されたのは たとえば0.75cc/gのヘリウムを放出したインド産のモナズ石砂(monazite sand)であった。

隕石は通常少量のヘリウムおよびアルゴンを含むほか他の希ガスの痕跡を示すこともある。 隕石中のヘリウムの濃度は 10^{-9} ないし 10^{-5} cc/gであり ネオンのそれはおよそ 15×10^{-6} cc/gである。 隕石中の希ガスの同位体比は地球の大気中の値としばしば大きく異なる。 たとえば 隕石中の³Heと⁴Heとの比はおよそ0.2であるのに 空気中におけるその比は 10^{-6} しかない。 またある隕石中の²⁰Ne, ²¹Ne, および²²Neの存在比は43% 30% および21%であるのに対して 地球の大気の前記は90.9% 0.3% および8.8%である。

New Mexicoのある坑井から産する天然ガスは8.9%のヘリウムを含むが 通常1%以下で 多くの天然ガスでは痕跡程度である。

ヘリウム以外の希ガスの唯一の工業的原料は大気であるが およそ1%もあるアルゴン以外の4元素は痕跡程度しか含まれていない。 ヘリウムは大気からもとれるが 大きな工業的原料は天然ガスである。 このような原料天然ガスは1-2%のヘリウムを含み 一般に主成分はメタンである。 しかし 高濃度のヘリウムを含む

表4 ヘリウムの同位体

同位体	放射物	半 減 期	大気中の濃度
³ He	安 定		6.8×10^{-6} vpm
⁴ He	安 定		5.2vpm
⁶ He	β^-	0.84sec	

(COCKETT & SMITH 1973)

ガスは通常窒素の濃度も高いか 産出流量が小さい。 米国の回収できるヘリウムはテキサス州のAmarilloの400km²内にある坑井に由来するもので 1年間に 11×10^7 m³のヘリウムが回収されており その一部は地下備蓄されている。 米国以外では 高濃度(8%)のものが南アフリカから報告されているが 産出流量はきわめて低く ソ連邦からは0.6-1.6%のネオン+ヘリウム またカナダには2%のヘリウムを含む窒素があり 1年間に 0.7×10^6 m³のヘリウムが生産されているという。

表3はこのような希ガス類の空気中および天然ガス中の濃度を示したものである。

ヘリウムの軽い安定同位体(³He)は 核反応装置中でリチウムと熱中性子とを衝突させてトリチウム(³H)にする反応のなかで生成される。 12.4年の半減期をもつこのトリチウムが³Heに変るのである。

ヘリウムを含む天然ガスは他の希ガス類を含むこともあるが 表3にみられるように その濃度は空気中におけるより低い。 大気中の希ガス類は数種の安定同位体を含む。 ヘリウムの安定同位体の大気中の濃度および不安定同位体の放射線と半減期は表4に示されている。

5 ヘリウムの起原

ヘリウムを生ずる核反応は多い。 そのため ヘリウムは宇宙論において大きな役割を演じているが 本稿では地球上のヘリウムの起原だけに触れておくことにする。 それには2つの学説がある。 その1つは地球創成当時のヘリウムが残存したものとする原始起源説であるが 現在では α 粒子放出重元素の放射性崩壊(表2)によって生成されたとするもう1つの考えにまともまっている。

地殻上層部におけるウランおよびトリウムの存在量をそれぞれ4ppmおよび11ppmとすると 表2のような反応で年間 $8 \sim 30 \times 10^6$ m³程度のヘリウムが生成されると見積られる。

このようにして絶えず形成されるヘリウムは 拡散によって大気に移動する。 ヘリウムは軽い元素であるため 大気から宇宙空間に逸出している。 5.2vpmという大気中の⁴Heの濃度は 地殻から供給されるものと

表5 空気の組成

	O ₂	N ₂	Ar	CO ₂	Ne	He	Kr	Xe
重量%	23.01	75.51	1.286	0.04	0.0012	0.00007	0.0003	0.00004
容量%	20.93	78.10	0.9325	0.03	0.0018	0.0005	0.0001	0.00009

(田中 1979)

表6 ヘリウムの物理的性質

	標準状態	臨界点		沸点 (latm)		ラムダ点	
		臨界点	臨界点	沸点	沸点	下部 (λ)	上部 (λ)
圧力 (bar)	1	2.275	1.0133	0.050	30.134		
温度 (K)	273.15	5.201	4.224	2.177	1.763		
密度 (kg/m ³)	ガス 0.176	ガス 69.64	ガス 16.89 液 124.96	液 146.21	液 180.40		
蒸発潜熱	4.878kcal/kg						
圧縮係数	圧力(bar) \ 温度(°C)	1	10	50	100	150	200
	15	1.0005	1.0049	1.0244	1.0487	1.0729	1.0965
	50	1.0004	1.0043	1.0125	1.0429	1.0641	1.0851
比熱	C _p =1.241kcal/kg·K (25°C, 1atm)						
熱伝導率 (10 ⁻⁸ cal/cm·s·K)	0°C	15°C	50°C	100°C			
	34.07	35.40	38.51	42.76			
誘電率	ガス 1.0000650						
粘度 (latm·10 ⁻⁶ N·s/m ²)	0°C	20°C	50°C	100°C			
	1.86	1.94	2.08	2.29			

(田中 1979)

宇宙空間に逸出するものが 力学的平衡を保っていることを示している。これから計算すると ヘリウムの大気からの逸出のために生ずる半減期は約 50×10⁶ 年であるという (COCKETT & SMITH 1973)。

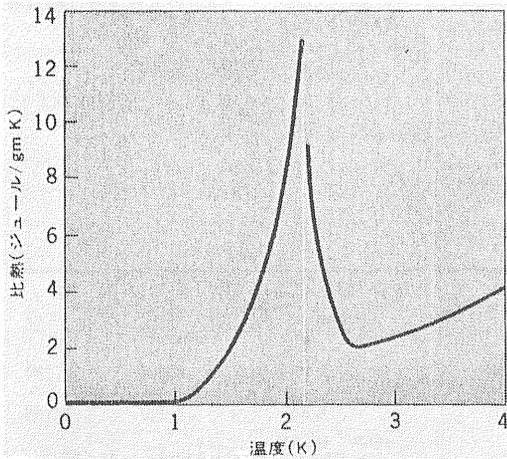
天然ガス中にヘリウムが濃集していることがしばしばあるのは 放射性鉱物に由来するものが集積した結果である。天然ガス中のヘリウムは大部分重い同位体 ⁴He で 軽い同位体 ³He はわずかしかない。この ³He も宇宙線によって造られたトリチウムの崩壊で絶えず形成されている。

各種の鉱物や 空気 (表5) および天然ガス中の放射源ヘリウムに関する研究から 岩石中で生成されたヘリウムはその半分以下が鉱物組織中に残留し 残りは間隙水に溶けたり 天然ガスとともに岩石中にガス相として存在したり あるいは大気中に逸出したりしていることが知られている。堆積岩中の孔隙および間隙水中のヘリウムは ガスのまま または間隙水に溶解して移動

してきたもので そのあるものは堆積岩層の下部深く存在する深成岩などからもたらされたものであろう (五十嵐・永田 1981)。

6 ヘリウムの物理的性質と超伝導

ヘリウムの一般的性質をまとめて示したのが表6である。³He は天然のヘリウムには 1.3ppm しか含まれていないので 一般に使われているヘリウムは ⁴He であると考えてよい。ヘリウムは無色・無味・無臭のガスで希ガスの中でもっとも軽く 水にはほとんど溶けない。また -270°C 前後の極低温でしか液体にならない。液体としては無色透明で 比重は水のおよそ 8分の1 しかなく きわめて気化し易い。とくに 沸点よりさらに低温になったところで超伝導のような特異な性質を示すほか ある種の金属は液体ヘリウムの温度付近で超伝導現象を示すところから ヘリウムは理工学的な応用面で注目を集めているのである。

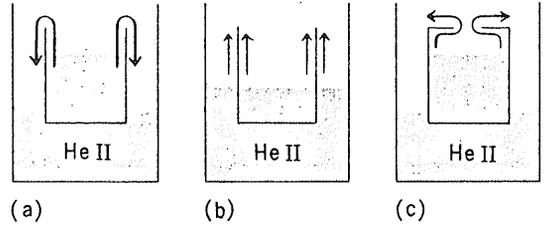


第2図 液体ヘリウムの比熱と温度 (STEWART, 1977)

超流動 液体ヘリウムを減圧しながら温度を下げていくと -271°C 付近で沸騰が止まる。これは相転移である。通常の液体ヘリウム HeI に対して この状態は HeII と呼ばれている。この転移点はラムダ点と呼ばれ この点を境として比熱 粘性係数 および密度などが不連続に変る。HeI と HeII との間の転移は潜熱を伴わない。液体ヘリウムの比熱を温度に対してプロットすると 転移点で鋭いピークを示し (第2図) その形がギリシャ文字の λ に似るところから ラムダ点やラムダ転移の名が出たのである。大気圧下での λ 点は 2.178K である。高温側の HeI はかなり正常な液体であるが 低温側の HeII は多くの特異性をもつ。

なかでも顕著な性質は HeII の超流動として知られている。HeII は水素の 0.001 という小さい粘度を示し どのガスよりも細かい割れ目を通して流れ出す。このように HeII は粘性をほとんどもたないので その液面にコップを浸すと HeII がコップの表面を伝って内部に流入し コップを液面から引き上げると 逆に HeII は薄膜となって流出してしまうのである (第3図)。これは流動膜 (creeping film) 現象としても知られており HeII は接しているすべての表面をおよそ $10\sim 20\text{cm/sec}$ の速さで這い上る。膜の厚さは数 100 原子に相当し 上り得る HeII 膜の高さは少なくとも数 m はあるという。

超伝導 ある種の金属を液体ヘリウムの温度付近まで冷却すると 電気抵抗が消失してしまう。これが超伝導と呼ばれる現象で 電気の伝導に関するものであるところから 超伝導と書かれることも多い。超伝導状態になっている物質は 磁力線を反撥する反磁性を示す。



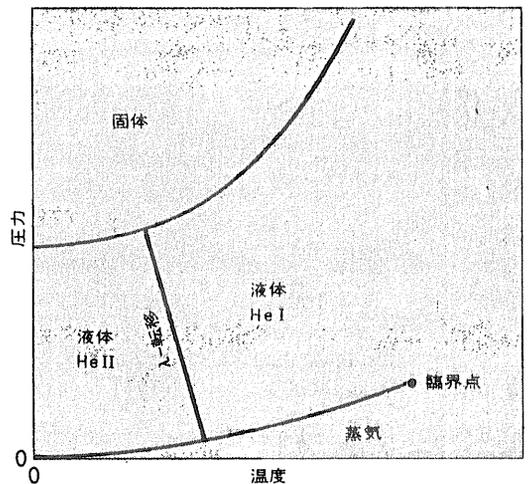
第3図 HeII の流動膜現象 (STEWART, 1977)

(a, b) 液面の均等化

(c) 容器の口径制限による流動膜現象の減少

しかし この超伝導現象は 温度が上ればもちろんであるが 大きな磁場の下でも消えてしまう。したがって こうした金属の線で閉じた回路を作り 超伝導状態に保ちながら電流を流すと 電流は永久に流れ続ける。同様な線のコイルで電磁石を作り 液体ヘリウムに浸せば 超強力な磁石が得られる。1960年頃から超伝導用の新線材が開発され 超伝導用コイルの設計製作技術も進歩し 超伝導現象の理論的解明もなされているので その前途は明るいし それあるが故にヘリウムの重要性が増したのである。超伝導はヘリウム固有の性質ではないが この現象はヘリウムあつてのものであることに注意して欲しい。

その他 ヘリウムは圧力をかけない限り 絶対零度になっても固体にならない。この性質は第4図の ^4He の状態図にも示されている。



第4図 ^4He の状態概念図 (STEWART, 1977)

臨界温度 $T_c=5.2\text{K}$ 臨界圧力 $P_c=2.26$ 気圧

7 ヘリウムの用途

ヘリウムの用途では 不活性気体であることを利用したもの および超低温の液体として使われている例が重要視されているが 超臨界状態での利用も研究されている。

1) 温度測定用

ヘリウムは理想気体にもっとも近い性質をもっているため 気体温度計に賞用されている。とくに 極低温用の蒸気圧温度計には欠くことができない。その温度範囲は ^4He (1.0~4.2K) および ^3He (0.4~3.2K) であるという (田中 1979)。

2) 浮上ガス用

もっとも一般的には風船・アドバルーンであるが 大型用途としては気球・飛行船がある。3万m以上の高空の気象観測や 宇宙線の測定に気球が使われた例も少くない。米国では 高低のある不整地の2点間にケーブルを張り 気球をつけた材木を運搬することも実用化されている (田中 1979)。

3) 呼吸混合ガス用

ヘリウムと酸素との混合ガスを使った飽和潜水法が日本のシートピア計画や米国のシーラブ計画などに大きく寄与しており 海底石油・天然ガス開発にヘリウムは不可欠なものとなった。また この種の混合ガスは喘息などの治療用にも使われているが これはヘリウムの拡散性のよさが利用されたものであろう。

4) 漏洩試験用

微量のヘリウムを検出する方法が進歩したので 拡散係数が大きく 分子の小さいヘリウムを使って 微小な漏れを検知することがひろく行われるようになり 高真空装置 冷凍機 宇宙船や 原子炉のような機器の部品や 配管の溶接部の検査に賞用されている。

5) ガス・クロマトグラフ用

ヘリウムの性質はキャリア・ガスとして好適である。

6) 溶接用

アルミニウム ステンレス 銅 マグネシウム チタンや ジルコニウムの溶接の特殊な場合に ヘリウムまたはヘリウム-アルゴンの混合ガスが使われている。

7) 冶金・雰囲気調節用

ヘリウムはチタンやジルコニウム ハフニウムの溶解や加工に使用される。そのほか 熔融金属中にヘリウムを導入して有害ガスを除去したり 半導体結晶の製造時の保護雰囲気用 真空炉冷却時のパージ用 核燃料処理時の保護ガスとしても使われる。

8) 高速風洞用

高圧ガスを噴出させて高速気流を得るとき ヘリウムはむしろ昇温するので 高速風洞にはヘリウムが使われる。この方法でマッハ100までのテストを行った例もあるらしい (田中 1979)。

9) 液体推進剤の加圧用

ロケットやミサイルの液体推進剤の加速に使えるガスとしては ヘリウムがもっとも適している。とくに液体水素の温度でも液化も固化もしないのはヘリウムだけである。そのほかロケットのエンジンや機器・配管のパージにも使われる。

10) 原子炉用

ウラン濃縮用拡散セルの修理後のパージにヘリウムを使って 再真空に要する時間を短縮したという報告もある (田中 1979) が もっとも大きな用途は原子炉の冷却・熱交換用である。これに関連して ベレット・タイプの核燃料棒がヘリウム溶接され 熱伝導率をよくするためと クリーク・テストを兼ねて ヘリウムを封入されていることも忘れてはならない。日本では高温ガス冷却炉から出る1,000°C前後のヘリウムによってメタンを分解し 出てくる水素によって鉄鉱石を還元するとともに この熱を段階的に利用して発電-製鋼-化学工業用に関連させるという 原子力製鉄コンビナートの研究が1978年に開始されている。

11) メーザー・レーザー用

通信衛星からの信号を増幅するためのメーザーや パラメトリック・アンプの冷却にもヘリウム(液体・ガス)が使われる。また レーザーにもネオン-ヘリウムの混合ガスが使われ 散乱せずに遠距離に到達する光のビームも発生している。半導体レーザーも液体ヘリウム温度に冷却することで高性能化が可能であるという。

12) クライオポンプ用

クライオポンプは 真空装置内のガスを極低温に冷却したパネル面に固着させて排気する 一種の真空ポンプで パネル面用の冷却機にヘリウムガスが使われている。その用途としては宇宙空間のシミュレーション用のスベ

ース・チェンバーが有名で わが宇宙開発事業団のクライオポンプの排気速度は 300万l/sec に達するという(田中 1979)。

13) 極低温物理研究用

超流動・超伝導の現象や 絶対零度に近い温度領域の物性研究には ヘリウムを使った液化機・冷凍機の使用が不可欠である。 ^3He と ^4He の混合液を使った ^3He - ^4He 希釈冷凍機では ^3He の相分離と希釈冷却とを利用して 4~0.005K という低温を作り出せる。

14) 超伝導マグネット用

これは今後もっとも大規模なヘリウムの使用が予想される分野である。

MHD発電 MHD は magnetohydrodynamic power generation の略で 電磁流体発電ともいわれ 超伝導マグネットの作り出す強い磁場を通してイオン化した高温ガスを流し そのガス中の電子を集めて発電する方法で 現在の火山発電の効率40%を50~60%に高めるものとして注目されている。

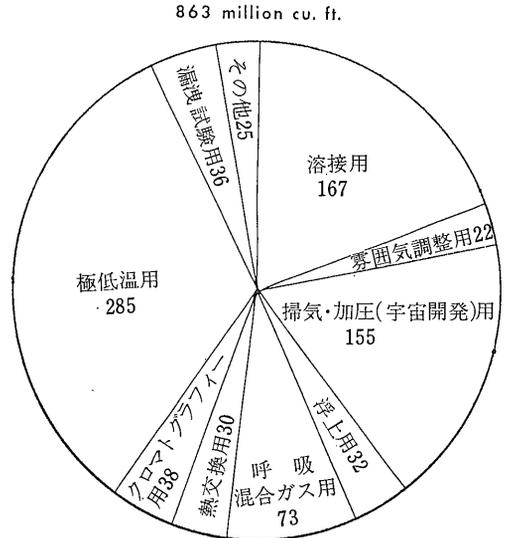
超伝導発電機 発電機の界磁コイルを超伝導化することにより 従来の半分以下の重量で同一性能を出すことが 米・英2国のほかは日本でも実験に成功している。

磁気浮上式鉄道 わが国鉄が1970年から実験を開始している方式で 車両に浮上用と推進案内用の超伝導マグネットを塔載し 地上側の浮上コイルと推進用コイルによって浮上走行するものである。

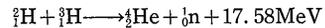
高エネルギー物理 素粒子の研究をする高エネルギー物理学の研究に欠くことのできない粒子加速装置に 超伝導マグネットの利用が研究されている。 米国のフェルミ国立研究所の加速装置用超伝導マグネットと 付属のクライオポンプなどを冷却するためのヘリウム液化機の能力は毎時 5,000l もあるという(田中 1979)。

エネルギー貯蔵 送電系の負荷調整用に考えられた方法で 負荷変動を超伝導コイルを使って磁気エネルギーとして貯蔵しようとするものである。 将来有望な方法として米国や日本で研究が進められている。

核融合 現在考えられているのは ^2H と ^3H とを融合させてエネルギーを発生させる方式で ヘリウムが生成される。



第5図 1980年の米国におけるヘリウムの用途別消費量 (単位: 10⁶ft³) (TULLY & DAVIS, 1981)



この反応を起させるためには1億°Cをこえる高温と水素のプラズマを閉じこめることが必要であり プラズマ加熱用にレーザーと超伝導エネルギー貯蔵を使うことや 超伝導マグネットによる強磁場でプラズマを閉じこめる方式が研究されている。

15) 超伝導ケーブル

送電線を超伝導化することによって 送電容量が大きくなり 損失が減少する。 米国ではその実験線がすでに建設されており また日本でも研究が進められている。 通信ケーブルの超伝導化によって広帯域・低損失の通信が可能になる。 これは日本でも研究されている。

16) SQUID

2つの超伝導体を近接させるか点接触させると 電圧を加えなくても超伝導電流が流れる現象をジョセフソン効果といい これを利用した測定素子を SQUID (superconducting quantum interferometric device) というがこの方面へのヘリウムの利用も今後ますます盛んになるであろう(田中 1979)。

17) その他

以上のほかに ヘリウムの用途には 電算機素子や医療関係への超伝導マグネットの応用 超伝導回転機やその他の機器への利用 電磁流体推進の船舶への応用 超

伝導磁気軸受などの新しい革新技術分野がある。

8 米国におけるヘリウムの用途別消費量

世界一のヘリウム消費国は米国であり その用途別消費量は 将来における世界のヘリウムの消費予測をする上に参考になるであろう。 第5図は1980年の米国におけるヘリウムの用途別消費量を示したものである。 それによれば おもな用途は次の3つである。

- | | |
|----------|-------------------------------|
| 1) 極低温用 | $8.07 \times 10^6 \text{m}^3$ |
| 2) 溶接用 | $4.73 \times 10^6 \text{m}^3$ |
| 3) ロケット用 | $4.39 \times 10^6 \text{m}^3$ |

消費量の合計は $24.44 \times 10^6 \text{m}^3$ であるから 以上の3つだけでその70%以上を占めている。 そのほかの用途別消費量は次のとおりである。

- | | |
|---------------|-------------------------------|
| 4) 呼吸混合ガス用 | $2.08 \times 10^6 \text{m}^3$ |
| 5) クロマトグラフィー用 | $1.08 \times 10^6 \text{m}^3$ |
| 6) 漏洩試験用 | $1.02 \times 10^6 \text{m}^3$ |
| 7) 浮上ガス用 | $906 \times 10^3 \text{m}^3$ |
| 8) 熱交換用 | $850 \times 10^3 \text{m}^3$ |
| 9) 雰囲気調整用 | $623 \times 10^3 \text{m}^3$ |
| 10) その他 | $708 \times 10^3 \text{m}^3$ |

9 世界のヘリウム資源 (日本を除く)

ヘリウムの資源的な面でもっとも調査の進んでいるのは米国であり 他の国々の資料についても 大部分が米国の調査によらざるを得ないのが現状である。

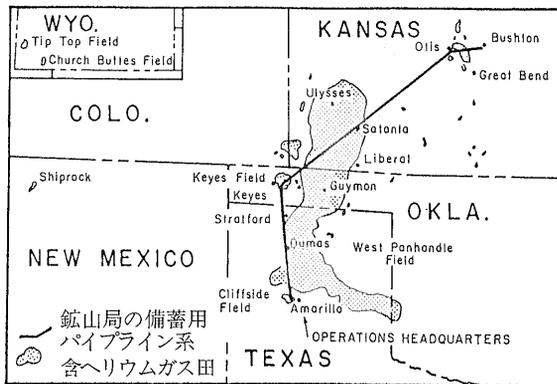
9.1 米 国

TULLY & DAVIS (1981) によると 1981年当初現在 米国のヘリウム資源量は $346 \text{Bcf} (=9.80 \times 10^6 \text{m}^3)$ である。 その内訳は次のとおりである (分布については第6図を参照されたい)。

ヘリウム濃度が0.3%以上の天然ガス中のもの
 確認資源量 $163 \text{Bcf} (=4.62 \times 10^6 \text{m}^3)^*$
 推定資源量 $37 \text{Bcf} (=1.05 \times 10^6 \text{m}^3)$

* 鉱山局に備蓄されている $40 \text{Bcf} (=1.13 \times 10^6 \text{m}^3)$ を含む)

ヘリウム濃度が0.3%以下の天然ガス中のもの
 確認資源量 $55 \text{Bcf} (=1.56 \times 10^6 \text{m}^3)$

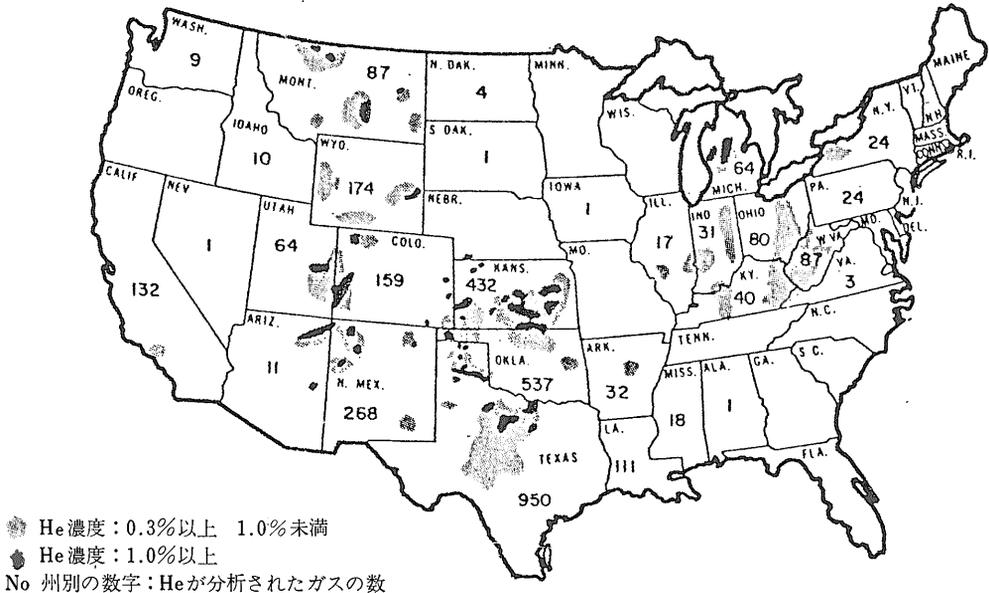


第6図 米国の含ヘリウム大ガス田 (TULLY & DAVIS, 1981)

推定資源量	$91 \text{Bcf} (=2.58 \times 10^6 \text{m}^3)$
合計	$346 \text{Bcf} (=9.80 \times 10^6 \text{m}^3)$

そして 連邦政府の所有またはコントロール下にあるヘリウムのおよそ95%は ワイオミング州の Tip Top および Church Buttes の両ガス田 オクラホマ州の Keyes ガス田 およびテキサス州の Cliffside ガス田にある (第6図)。 また 第7図にみられるように 米国のヘリウム資源の多くは 内陸地域およびロッキー山脈地域にある。 徴候地を含めると 10州の100を超える含ヘリウムガス田がある。 しかし 埋蔵量の大部分はカンサスオクラホマ およびテキサスの3州にまたがる Hugoton ガス田 オクラホマ州の Keyes ガス田 テキサス州の Panhandle, Cliffside の両ガス田 および Wyoming 州の Tip Top ガス田がある (DAVIS, 1980)。

KATZ (1968) によれば 米国の第三系 中生界 および古生界に属するそれぞれ178 183 および609のガス田のガス中のヘリウム含有量の頻度分布は 第8図のようになっている。 また 一般の石油・天然ガスの場合と同様にヘリウムの埋蔵量も大きなものに集中しており 米国におけるその大半は Hugoton~Panhandle ガス田にある。 表7に示された米国の代表的な含ヘリウムガス田には新しい地層中に胚胎されるものは1つも無い。 本表についてみると ガス層の年代はカンブリア紀からジュラ紀にまたがり また推定根源岩には 上部古生界の頁岩のほかに 含ウラン瀝青土 侵入岩 先カンブリア紀の各種の岩石などがある (WARD & PIECE 1973)。 表7中の He N₂ および CO₂ の残りはおもに CH₄ である。 本表から明らかなように ヘリウムは窒素を主成分とする天然ガスに多い。 これは後で述べる日本のものについても同様である。 ただし 資源的にはメタンを主成分とする天然ガスに含まれるものの方が重要であ



第7図 米国における含ヘリウムガス田の分布 (TROAST, 1967)

る。

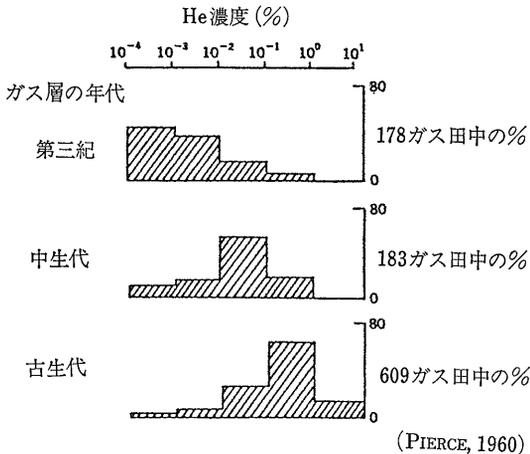
米国では生産中のヘリウムに富む天然ガスのおよそ38%についてヘリウムの抽出・回収が行われている。そのため米国におけるヘリウムの埋蔵量は1975年までは毎年6%の割合で減少したと報告されている。その後1980年までの減退率はおよそ0.5%であったという。ここで注意しなければならないのは回収・消費だけのヘリウムが埋蔵量から減るのではないことである。実はそれ以上のヘリウムが天然ガスの燃焼とともに空气中に失われている。米国の場合1962~1971年の10年間にヘリウム資源は120億m³も減少しているがそのうち

実際にヘリウムとして使われたのは2億m³だけで11億m³がヘリウム保存計画による貯蔵に回されその他の107m³すなわち減少量の90%あまりは大気中に失われてしまったということである (U.S. Dept. Commerce, 1976; 田中 1979より)。

9.2 その他

米国以外のヘリウムの埋蔵量に関する使用に耐える情報はほとんどない。鉱山局が入手している天然ガス試料の産出国にはアルジェリア オーストラリア ボリビア カナダ 西ドイツ リビア メキシコ オランダ パキスタン およびペルーがある。大部分の試料のヘリウムは0.1%以下であった。1%のヘリウムを含む天然ガスは東シベリアにあったがソ連のヘリウムはもっと含有率の低い天然ガスから生産されている。北海で発見された天然ガスは0.04%ないし0.12%のヘリウムを含む。またオランダのフローニンゲンガス田の天然ガスは約0.05%のヘリウムを含む。

カナダではアルバータ州 オンタリオ州 およびサスカチャン州から含ヘリウム天然ガスが知られている。アルバータ州のBow Islandガス田では0.3%のヘリウムを含むガスがColorado頁岩の下部から産出している。しかし現在カナダでヘリウムの回収が行われているのはサスカチャン州のWilhelmで0.2~2%のヘリウムを含む窒素系の天然ガスから年間0.7×10⁶m³のヘリウムが回収されているという (牧 1973)。フラ



第8図 米国におけるガス層の地質年代とヘリウムの含有量との関係

表7 代表的な含ヘリウムガス田
大規模ガス田 (天然ガス1兆立方フィート以上)

地 域	ガ ス 田 名	地質時代と母岩	含 有 率 (%)			堆 定 源 岩
			He	N ₂	CO ₂	
Kansas Oklahoma Texas	Hugoton	二疊紀石灰岩・頁岩	0.3-1.9	11.1-41.4	0.1-1.7	二疊系黒色頁岩
Texas	Panhandle	二疊紀石灰岩	0.1-2.2	3.4-54.7	0 -11.7	含ウラン瀝青土, 基盤 火成岩
Kansas	Greenwood	ペンシルヴァニア紀石 灰岩	0.4-0.7	3.9-28.3	0 -3.1	石灰岩下の頁岩
Oklahoma	Keyes	ペンシルヴァニア紀砂 岩	0.3-2.7	9.6-33.3	0.1-16.8	暗色頁岩

中一小規模ガス田 (天然ガス1兆立方フィート以下)

Texas	Cliffside	二疊紀石灰岩	1.7-1.8	23-25.2	0.4-0.8	含ウラン瀝青土
Kansas	Otis-Albert	石炭—オールドヴィス紀 砂岩	1.2-2.3	9.1-31.0	0.1-0.4	プレカンブリア時代の 花崗岩・片岩など
Colorado	Model Dome	二疊紀砂岩	6.7-8.3	75.7-77.9	13.9-14.8	同 上
New Mexico	Hogback	ペンシルヴァニア紀 Hermosa 層群	1.4-8.0	16.5-79.9	0.1-20.3	深所透入岩
	Rattlesnake	ミシシッピ—デボン紀 石灰岩	7.5-8.0	71.3-76.6	1.9-3.8	同 上
Arizona	Pinta Dome	二疊紀砂岩	5.6-9.8	86.3-93.7	0 -0.9	同 上
Utah	Lisbon	ミシシッピ—紀石灰岩	0.3-1.1	6.7-17.7	21.1-31.3	頁岩
	Harley Dome	ジュラ紀砂岩	7.0	84.5	1.0	プレカンブリア時代の 岩石
Wyoming	Woodside Dome	二疊紀砂岩	1.3	64.0	30.0	同 上
	Tip Top	オールドヴィス紀ドロマ イト	0.8	6.5	85.5	同 上
Montana	Cabin Creek	カンブリア紀砂岩	0.4	89.3	0.7	同 上
SW.Saskatchewan Canada	Wilheim Well	カンブリア紀シルト 岩・砂岩	1.0-2.0	96.0	—	同 上

(WARD, D. E. and PIERCE, A. P (1973) による)

(五十嵐・永田 1981による)

表8 世界のヘリウム資源 (単位: 10⁹立方フィート)

	埋蔵量	その他	合 計
米 国	1181	2562	743
その他 (ソ連を除く)	NA	2120	NA

NA 使える資料を欠く

- 1 400 億 cf の備蓄ヘリウム 濃度0.3%以上のヘリウムを含む天然ガスに関する860 億 cf の確認埋蔵量 および550 億 cf の推定埋蔵量を含む。
- 2 濃度0.3% 未満のヘリウムを含む天然ガスに関する約1,620 億 cf の確認・推定埋蔵量を含む。
- 3 カナダの350 億 cf およびアルジェリアの850 億 cf を含む。

(DAVIS, 1981)

ンスでは Alfordville においてオランダから送られてくる天然ガスから 副産物としてヘリウムが回収されている。ソ連については詳細は不明であるが 年間およそ2 × 10⁶m³ のヘリウムが回収されているようである (同上)。

DAVIS(1981) はソ連邦を除く世界のヘリウム資源量を表8のようにまとめている。このように その他として資源量が計上されているのは カナダおよびアルジェ

リアの2国だけであるが 天然ガスそのものの埋蔵量の大きい北海油田やフローニンゲンガス田のヘリウム資源量も大きいはずである。また われわれに身近なところでは 地質条件からみて 中国 (台湾を含む) のヘリウム資源量も 本来相当大きいものと思われる。

(以下次号)