

● 総 説

人間の海中活動と石油文明*

関 邦博**

はじめに

わが国の最近の著しい考古学の研究成果の中で特に潜水と関係のあると思われる報告が芹沢(1982)の著書の中に見られる。大分県岩戸遺跡(21,000年前)の発掘で旧石器時代の集石墓が発見され、その中にヒトの歯および骨格の一部と貝殻の細片4点が検出されたという。その貝殻の中にアワビがあった。アワビは、古代から水中に潜らなければ採取できない貝の1つとして知られていた。アワビは、縄文貝塚の遺跡から夥しい貝類、土器、木炭とともに発掘されていた。これらの出土資料を基に古生物学、古食物学的検討を行ったところ、アワビ類は、当時の人間が潜水しなければ採取できなかったという。それを裏付ける事実として明治時代の初期まで、日本には、海女というダイバーが存在し、潜水してアワビ、サザエ類を採取していた。この縄文遺跡の出土資料を基にC-14で年代測定を行ったところ、はからずも海洋科学技術センターの裏山にある国の史跡として保存されている夏島貝塚が日本で最も古い縄文遺跡(9450±400年前)として認定され今日に至っている。

われわれの祖先は、今から21,000年も前から海の中に潜って活動していたことを考古学は明らかにした。

人間は、古代から海に潜り宝物として真珠、サング、貝類を採取し珍重して来た。この海中の宝物を得るために人類は、多大な努力や犠牲を払ってきた。時には、成功したり、ある時には戦の原因になったり、また自然科学の新しい発見につながったりもした。

現代における海中の宝物と呼ばれるものは第1に自然の力によって生みだされた鉱物(石油、ダイヤモンド、金、銀、銅等)、第2に海中で再生産され続ける生物(漁貝類、クジラ類等)、第3に古代から海底という自然の博物館に保存されている人類の遺物、遺構の3つが挙げられる。

人類は、海中の宝物を手に入れるために、今も昔も海の中に潜入している。

現代の海中活動

海中活動の主たる目的は、人類が海の中を開拓し、人類共有の財産となすことにある。

人類は、海中という領域から宝物を得るために潜水を手段として用いなければならない。そのためには、潜水を科学的に把握し体系づけ、実験を行い知識を蓄積する。これらの知識をもとに潜水技術の開発を行い、実用化を図ることになる。実用化が終わった時点で個々のハードとソフトは商品化につながり、産業として存在し、発展し、繁栄していくことになる。

海中活動と1口にいても非常に多岐の分野にまたがった学際的な科学と、業際的な技術力を駆使しなければならない。その中には、まだ前世紀の技術を利用しているものや、まだ学問として体系づけられていないものもある。海中活動は、非常にアンバランスな姿で存在し発展しているのが

*Undersea activity of men and petroleum civilization

**海洋科学技術センター潜水技術部
Kunihiro Seki
Jamstec, Yokosuka, Japan

実情である。現在の海中活動の姿は、次の3つに区分することができる。

第1に科学の分野がある。それは、深海生物、海中測量、海中標識、海底地図、海底地盤等の調査研究、海中機器の姿勢保持、海中停留、海中吊索等の科学技術の開発、海底地質学、海底地形学、海底推積学、海底物理探査等の研究を行う。

第2に軍事または救難の分野がある。それは、海中偵察、機雷の除去、海峡の海底に水中磁力探知装置の設置または破壊作業、水中からのミサイル発射、海底からの兵器類の回収、沈没したタンカーから油の抜取り作業、放射性物質の回収、潜水艦からの人員の救助作業等がある。

第3に産業の分野がある。養殖漁業、港湾作業、海底油田の探査、採掘、運搬、貯蔵等の生産システムの建設や保守作業がある。特に欧米では、1960年代から陸上の資源がだんだんと枯渇されるという経済見通し、そして採掘コストの上昇、世界政治情勢の不安定から来る資源供給の不安感などの理由から、政治的に安定した国の領海内から石油資源の供給を確保するために、海底油田開発の科学技術が急速に進み、産業として存在し、発展することとなった。それに追従して、海中活動の諸技術も飛躍的に発展をとげている。

以上3つの分野の海中活動には、それぞれの水中作業に最も適した潜水方法を用いて目的とする任務を遂行することになる。

1984年現在、海中活動の最先端技術は、人間を環境圧潜水によって、深度686m相当圧の高圧環境に送り込み生還させることに成功し、同じく環境圧潜水によって深度501mの海中でダイバーが作業を行うことができることを実証した。人類は、深度1,714mからの海底油田の試錐（マルセイユ沖）の作業、深度312mの原油生産用油田のプラットフォームの設置（メキシコ湾）、重量60万トンのプラットフォームの設置（北海）、深度603mのパイプラインの敷設（地中海）、海底パイプライン450kmの敷設（北海）などの水中作業を成功させた。

科学や軍事面において開発された海中活動の技術は、産業面にすぐ生かされるとは限らない。何故なら、水中作業は、その作業目的に合った潜水システムが作られ、目的とする任務を遂行することになるからである。つまり、海中環境は毎日、毎時、変化するという多様性ととんでいる。その

ため毎回作業環境に対応したシステムを投入しなければ、目的を遂行することができないという性質を持っているからである。

人間の深海潜水

人類は、2万年以上も前から現在に至るまで海中に潜ってきた。現代のように科学技術の進歩した時代になっても人間は何故まだ海中に潜らなければならないのだろうか？しかも人類がいまだかつて到達したこともないような深海へ、長期間にわたって潜り続けなければならないのか？海がそこにあるからなのか？このような疑問に答えるのは難しい。例えば神が存在しているか、していないかを証明することは非常に難しいが、私達は、神が存在しているかどうかを調べるようとする努力はできる。現に神につかえる人達は、この努力を毎日行っている。そこで、人間がなぜ、海中に深く潜らなければならないのか、明確な答を出すには至らないかも知れないが、この解答を引き出すための努力を行うことは可能である。以下その努力をしてみよう。

1984年現在、地球上の人類の過半数は、石油文明の社会の中で生活している。この石油文明を「存在」せしめ「発展」「繁栄」させて行くためには、人間がどうしても潜らなければならなくなった。それには、次のような理由があるからである。

1. 文明の存在、発展

現代は、石油文明と呼ばれているが、この文明とはどういう意味を持っているのか少し掘り下げて考察してみよう。

文明とは、文字の使用、政府、冶金術の3条件が備わった文化（自然を自然のままに委ねておくことなく技術を通じて人間の一定の生活目的の達成に役立たせること）の形態である。文明の発生の条件として、科学技術、社会、政治、道徳、宗教の諸分野における発達がある。文明が発展し、次の文明に移行していく時は、必ず新しいエネルギー源を人間が利用できるようになった時点で出現している。

BC6000年頃から中近東現在のイラクに採集狩猟生活をしていた人類から定住農耕村落を伴う生産経済の移行が始まった。BC3000年頃には、都市を中心とした文字を使用する人類最初のシュメール文明が誕生した。

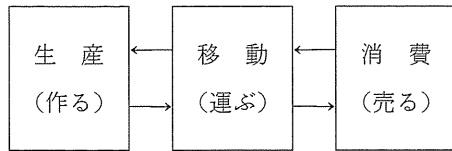


図1 文明を存在、発展させる要素の中で(生産、移動、消費)どれが本質であろうか。移動が本質なのである。文明とは、移動量の大きさや速さによって決定されるのである。

ブレードウッド(1907~)の説によれば、文明の本質は、食糧を生産しなくても生活のできる人達が都市に集まり、人間の精神や理性の活動によって生み出されたものを模倣あるいは学習を通じて次の世代に受継がれて行く過程を示している(図1)。地球が誕生して以来、人間だけに文明を起こさせ、なぜ他の生物には文明を生み出すことができなかつたのであろうか。哺乳動物の中には、チンパンジーのように人間と身体的な特徴がよく似ておりしかも簡単な思考能力を働かすこともできる動物がいる。しかし、動物達は、生存中に獲得した経験や知識を簡単な学習を通して次の世代に伝えることができないため文明の形成に寄与することができなかつたのである。文明の基本的な特徴をさらに深く掘り下げてみると次のようになる。

人類が野生の動物と同じように家屋も衣服も言語も持たずに毎日の食糧を求めて不安定な生活を送っていた時代のことは、現在でも時々発見される野生児や原始人の人類学的調査研究によって明らかにされている。

現代社会から隔離された野生児の火も道具も言葉も使わない生活は、1758年フランスのシャロン・シュル・マルヌの近くで発見された野生の少女に始まって以来今日まで40例近く報告されている。この野生児の特徴として人間の声が出せず、直立歩行ができないため手掌や膝が堅くなっており嗅・聴・視覚は動物のように敏感で食物の所に口を持って行って食べ、裸体に対する羞恥感はなく喜びや悲しみの表情もないと報告されている。これらの野生児の研究から、人間の正常な発達には文明的な環境が必要であり、人間として成長し生命を持つ1個体として自立生活を営むに足る体力および知力を獲得するまで長期間成人の保護のも

とで暮らし、人間的な環境のなかで積極的に人間として交渉をもつことによつてのみ文明を従える人間としての諸能力を十分に発揮できることになる。人間は、生まれてくる時、文明は持っていない。人間は、文明の中にどっぷりと身を浸して生活しなければ野生児のような生活を一生続けることになる。以上の要素が人間に備わって初めて人類の社会の中に文明が存在することになる。

文明を存在せしめ、発展させるためには、その他の要素も必要である。それは、いったい何であろうか。文明を発展させる要素は「動力」(移動)である。人間の持つ人力という動力があつたからこそ世界最初の文明がイラクに誕生しただけでなく発展していったのである。

古代イラクの平原では、農耕によって生産される食糧は農耕に従事した人達によってまず消費された。農耕技術の進歩にともなつて、農耕従事者が消費する以上の余剰農産物を人力によって生産できるようになった。定住農耕によって生産された余剰農産物は、人間の動力「人力」によって都市に運ばれそこで食糧生産に直接従事しない人達を養った。文明は、この都市の消費者達によって作られ発展したのである。この文明の発展の度合は、都市に流入する余剰食糧の大きさによって決まった。このように人の力によって文明が維持されたのを人力文明という。人力文明を支えたのは、穀物であつた。一定面積で得られる食糧のカロリーという点では、イモや果実の方が穀物より大きい場合がある。それにもかかわらずなぜイモ文明、バナナ文明が存在しないのか。その理由は、穀物が、常温で容易に貯蔵や運搬ができたからこそ多数の都市の消費者を養うことができたのである。

ヨーロッパにおいては人力文明から家畜の力を利用した畜力文明に移行したのは、古代ギリシャ、ローマ時代である。馬は、人間の4倍の食糧を消費するが、しかし人間の15倍の物を引っ張ることができるため人間に労働させるより馬に労働させる方が効率がよいということから畜力文明が生まれ発展するようになったのである。物を引っ張るという動力は農耕や物を運搬することに適していた。この人力と畜力を組み合わせて相乗効果を挙げ、大量の余剰食糧を生産し、都市に供給することができるようになった。この多量の余剰食糧によつ

て食糧を直接生産にも運搬にも従事せずに食糧を得ることのできる人達(武士、役人、僧侶、商人、工人等)がヨーロッパの文明を築きあげたのである。

この畜力文明の発達によって家畜の食糧を得るために森林は次々と伐採され、16世紀頃には、燃料不足をきたすようになった。燃料不足の代用として石炭が使用されるようになった。石炭によって火力を作りその火力によって蒸気を起こしこの動力で石炭の鉱道内の水を汲み上げさらに石炭を掘るといふ拡大再生産が1700年代に軌道に乗った。石炭文明は、1765年にワットの蒸気機関の発明によって始まるのである。この蒸気機関は、改良され蒸気機関車と蒸気船に応用し輸送に利用されるようになった。1860年頃までは、イギリスが世界の石炭文明の中心地であった。

2. 石油文明の誕生

1860年、フランスのルノアールが石炭ガスを用いた内燃機関を発明した。1885年には、この石炭ガスエンジンに石油から精製されるガソリンや灯油を用いた内燃機関が蒸気機関より効率がよいことが判った。石油から分溜精製されるほとんどの油は動力として用いることができるようになった。そして、石油火力は、物を運搬する能力にきわめてすぐれていることが明らかとなった。文明を発展させる要素としての運搬機能を石油は持っていることが人類の前に明らかとなったのは、1900年代に入ってからのことであった。石油は、人類がこれまで発見した動力資源の中で最良のものであった。

石油は、他の動力資源である人力、畜力、石炭を経済効率の面からことごとく駆逐していった。その大きな理由は、石油の持つエネルギー特性が石炭に比べて優れていたこと、石炭に対して石油価格が相対的に安かったこと、発熱量が高く、熱効率が石炭の1.5～2倍のカロリーを出すこと、品質が一定であること、燃焼、運搬、貯蔵が容易なこと、石炭のように煤煙や灰等がでて環境の汚染が少ないこと、物質を移動する動力源として大きなものから小さなものまで利用が可能なこと、飛行機のように3次元的運動をする物に利用できるなどの利点を持っていた。このように優れた移動用動力源として石油以外に、他に代用できるものは現在まで見つかっていない。石油に替る資源と

して将来、風力、水力、潮汐力、波力、原子力、核融合、天然ガス、石炭、太陽光などが考えられているが石油に替るものにはなりえないことは、明白な事実であることはあまり知られていない。工業化社会になるとエネルギーの消費量そのものが飛躍的に発展し、その供給源が原子力や核融合に替ることが示唆されているが、いずれもエネルギーを電力に変換して利用しなければならない。電力は、一般に考えられているよりもずっと不便なものなのである。電力は、手軽に持ち運べない。電力にとっては、二本の電線が必要である。配線がなければ、電力は使用できない。文明の発展の尺度は、移動用動力が基本である。石油文明が電力文明に将来変ることは、ありえないのであり、石油と電力は全く次元の異なったものなのである。電力とは、油圧やテコと同じような機能を持つものであり、動力を遠方に伝達する方法であってエネルギーではないのである。

文明をこれからますます発展させる要素を持っているのは、現在も将来も石油以外には見あたらないのである。石油は、化石燃料として知られている。石油は、将来枯渇するといわれている。石油の枯渇するまでの期間は、次のようにして求められている。「確認可採埋蔵量÷その年の石油生産量、1983年でみると、世界全体で31年後に石油は枯渇することになる。この計算には、新規発見の油田や回収技術の進歩などは考慮に入られていないのである。現在の技術では、可採埋蔵量の25%しか回収できなく、残り75%は地中にまだ眠っているわけである、現在新規油田の発見は、海底油田にみらる。また石油の採油技術の開発が行われており、水攻法、ガス注入法、熱攻法、化学攻法、高圧ガス攻法が誕生している。この技術が開発されることによって既存の油田の回収率は80%近くまで向上する。その結果世界の石油の寿命は、飛躍的に長く延び22世紀まで石油文明がひき続き存在し発展すると思われる。

3. 日本の石油文明

わが国の場合を振り返ってみると次のように考えられる。日本の縄文時代中期(BC3000年頃)の総人口は26万人に達し、その96%が現在の福井県と愛知県を結ぶ線より東の地方に住んでいた。これは、縄文時代の人類が生きていくために必要としたカロリーの半分をクヌギ、クリ、トチ、シイ、

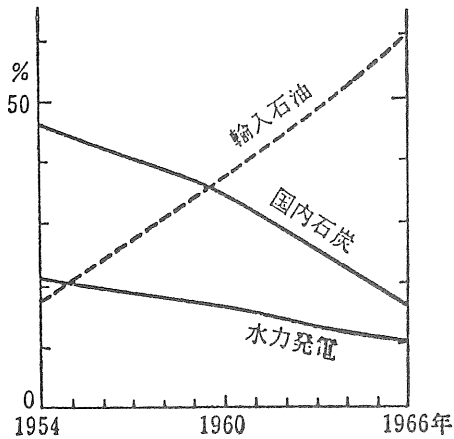


図2 日本の燃料と動力の盛衰

カン等の木から採れる木の実に採取していたのである。これらの木の実は、東日本に多い落葉広樹林の産物であった。西日本には照葉樹林が多く木の実の生産性は低かったのが大きな理由であった。弥生時代に稲作農耕が開始されてこの穀物が日本人のエネルギーの大半をまかなうようになると人口も60万人と増大して行った。日本に文字が輸入され都市文明が栄えた奈良時代には、人口は600万人に達した。これは、弥生時代から奈良時代までの800年間に稲作農耕の発展によって都市化が進み都市の人口を維持するための動力が飛躍的に向上したものであった。文明が成熟して行くにしたがって人口も増大して行き江戸中期の1721年には3,127万人に達し、明治時代後期には5,000万人に達している。

わが国は、明治時代から石炭文明が始まり石炭文明から石油文明に移行したのは、つい20数年前の1960年のことであった。この年に、石油が、石炭をエネルギー消費の面で追い抜いたのである。それ以来、石炭の消費量は年々低下し続けている(図2)。

1984年現在のわが国は、石油なくしては存在し得なくなってしまった。しかも石油は、99.8%まで輸入に頼っている。石油文明の下で日本が存在していくための条件を以下述べてみる。世界の中の日本の位置付を行うと次のようになる。地球の71%は海であり、残りの29%が陸地である。日本の国土の広さは、地球の陸地の0.25%である。しかも日本の国土の中で人間が住めるのは、そのうちの20%であり地球の陸地からみると0.05%になる。わが国の人口は、1億2千万人である。世界

の総人口は、44億人であるから約2.7%の人間がわが国土に住んでいることになる。経済活動の規模は、世界全体の総生産量が約10兆ドル(2,500兆円)に対し日本の総生産量は約1兆ドル(250兆円)だから約10%となる。日本は、世界の陸地の1/400の土地に世界人口の1/37の人間が住みしかも世界全体で10%にも昇る経済活動を行っていることになる。わが国の人口密度は、世界平均の11倍になり、経済活動は世界平均の4倍近くにも昇り、土地は世界平均の40倍効率よく運用していることになる。これが現在の日本の姿である。わが国は、年間約7億トンの物資を輸入し7千万トンの製品を輸出して成り立つ国である。この加工貿易によって、わが国は「存在」し「発展」ととげ、そして「繁栄」をしていることになる。日本の「存在」のために必要なものは、食料と石油である。日本の石油の消費量は、年間約2億トンである。そのうち米の生産のために6百万トン使用している。第2次世界大戦前には、米の生産に牛馬100万頭を使用していた。今は、米の自給率100%といっても石油があつての話である。第2次世界大戦前の日本の国全体の石油の消費量は、6百万トンであった。石油なくしては、日本は「存在」し得ない状況になっている。

4. 世界の石油文明

現代の石油文明とは、石油によって生み出される動力で物を生産したり、生産した物を運搬する文明である。石油は、国際政治上の第1級の商品でありしかも第1級の戦略物質でもある。このことをいみじくもフランスのアンリ・ベランジュは次のようにいっている。

「石油を持つ者が世界を支配する。ハイオクタン価のガソリンで空を、重油で海を、そしてガソリンと灯油で地上を支配する。それに加えて石油を通じて得られる莫大な富は、経済的な意味でありとあらゆるものを支配する。」

石油文明をささえているのが現代の石油産業である。20世紀における史上最大の産業として、石油産業は世界経済の上に君臨している。1969年アメリカの経済誌「フォーチュン」が世界の大企業の1位から15位まで順位別に示した中に石油会社が6社顔を出している(表1)。6社の売上高の合計は1,285億ドル(46兆円)であり、また当時の原油の販売価格は1バレル当たり2ドルであった。

表1 1968年度売上高から見た世界の大企業15社

順位	会社名	国籍	業種	売上高 (億ドル)	従業員数 (万人)	従業員1人 当り売上高 (万ドル)
1	ジェネラル・モーターズ	米	自動車	243.0	79.4	3.1
* 2	スタンダード・オイル(N・J)	米	石油	175.4	14.5	10.3
3	フォード・モーター	米	自動車	147.6	43.6	3.4
* 4	ロイヤル・ダッチ・シェル	英・蘭	石油	97.4	17.3	5.6
5	ジェネラル・エレクトリック	米	電機	84.5	40	2.1
6	I・B・M	米	電算機	72.0	25.9	2.8
7	クライスラー自動車	米	自動車	70.5	24.5	3
* 8	モービル・オイル	米	石油	66.2	7.6	8.7
9	ユニレバー	英・蘭	油脂	60.3	32.7	1.8
*10	テクサコ	米	石油	58.7	7.3	8.2
11	インターナショナル・ テレフォン	米	電話	54.7	35.3	1.6
*12	ガルフオイル	米	石油	49.5	6	8.3
13	ウェスタン・エレクトリック	米	電機	48.8	20.4	2.4
14	U・S・スチール	米	鉄鋼	47.5	20.4	2.3
*15	スタンダード・オイル (カリフォルニア)	米	石油	38.2	4.7	8.2
33	日立製作所	日	電機	24.8	16.7	1.7
52	トヨタ自動車	日	自動車	22.7	4.8	4.7
62	東芝	日	電機	21.3	14.7	1.5
63	三菱重工	日	機械	21.0	9.3	2.3

(*印=石油産業)

1983年のフォーチュン誌によれば、1982年度の世界の大企業の売上高を1位から15位まで順位別に示した(表2)中に石油会社は実に10社が顔を出している。この10社の合計売上高は、実に4,840億ドル(121兆円)に達している。この時の原油の販売価格は、1バレル29ドルに高騰していた。この10数年間の間に石油産業がますます隆盛していることが判る。

世界は、現在石油文明の発展途上にある。1995年頃には、原油の販売価格は1バレル当り50~60ドルまで高騰すると石油産業界は予想している。もしこの予測が正しいとするならば10年後の世界の大企業の売上高の15傑は、全て石油会社によって占められることにもなりかねない。

わが国の場合、石油消費の99.8%までを海外からの輸入石油に依存している。それにもかかわらず石油文明の時代で自由世界第2位の巨大な経済大国として発展し繁栄している。この理由は、世界の石油販売価格がまだ安いこと、富豊かな工業用水があること(先進国は、石油を1消費すること

に対して水はおよそ石油の20倍必要であるという)、石油を使用する高効率の移動性に富む交通網、均質な人的資源等にめぐまれていることによる。1982年度、わが国は540億ドル(13兆円)の石油を輸入した。この年度のわが国の総輸入金額は1,306億ドル(32兆円)であった。石油が総輸入高に占める割合は実に41%にも昇っている。わが国のこの石油の輸入代金は、自動車と鉄鋼とテレビ、ラジオの電気製品のいずれも生産高世界一位の製品の3つを合計した輸出金額に相当する。いずれも、世界一位を占める製品が、対価なしに海外に持って行かれてしまっていることになる。

わが国の石油文明の「存在」「発展」「繁栄」を左右させるのは、石油輸出を支配している石油会社の石油販売価格の動向にかかっていることになる。

5. 石油文明と海中活動

1982年度に世界の海底油田の開発のために掘削された石油井戸の数は、3,494本(524億ドル:13兆円)であった。世界の総石油生産量は、1日当

表2 1982年度の売上高から見た世界の大企業20社

順位 (昨年)	会社名	国籍	業種	売上高 (単位千ドル)
* 1 (1)	エクソン	米 国	石 油	97,172,523
* 2 (2)	ロイヤル・ダッチ・シェル	蘭・英	石 油	83,759,375
3 (4)	ゼネラル・モーターズ (GM)	米 国	自動車	60,025,600
* 4 (3)	モービル	米 国	石 油	59,946,000
* 5 (6)	ブリティッシュ・ペトロリアム	英 国	石 油	51,522,452
* 6 (5)	テキサコ	米 国	石 油	46,986,000
7 (8)	フォード・モーター	米 国	自動車	37,067,200
8 (11)	I B M	米 国	事務機	34,364,000
* 9 (7)	ソーカル	米 国	石 油	34,362,000
10 (16)	デュボン	米 国	化 学	33,331,000
* 11 (12)	ガルフ・オイル	米 国	石 油	28,427,000
* 12 (9)	スタンダード・オイル(インディアナ)	米 国	石 油	28,073,000
* 13 (10)	E N I	イタリア	石 油	27,505,858
14 (14)	ゼネラル・エレクトリック	米 国	電子・ 電 機	26,500,000
* 15 (13)	アトランチック・リッチフィールド	米 国	石 油	26,462,150
16 (→)	I R I	イタリア	鉄鋼・ 造船等	24,815,296
17 (15)	ユニリーバ	英・蘭	食 品	23,120,471
* 18 (18)	シェル・オイル	米 国	石 油	20,062,000
* 29 (17)	フランス石油	フランス	石 油	20,029,197
* 20 (25)	ペトロブラス	ブラジル	石 油	19,004,999

* 石油産業

り5,300万バレル（16億ドル、4,000億円）であった。海底油田からの生産量は、1日当り1,336万バレル（約4億ドル、1,000億円）で全体の25.2%を占めている。1978年度は、総石油生産量に占める海底油田からの生産量は、19%だったのが徐々に増大してきている。1990年には、総石油生産量に占める海底油田からの生産量は50%に昇るといわれている。

自由世界が1970年代の10年間に石油開発に関連して投資した費用は、3,650億ドル（91兆円）に達するという。24時間ごとに1億ドル（250億円）使った勘定になる。そのうち48%が石油を発見し汲みあげるための調査開発費用であった。ちなみに1975年から10年間にわたってスペースシャトルに投下される費用は約80億ドル（2兆円）である。また月の有人探険で1960年～1975年の15年間にわたって進められたアポロ計画で投入された費用は約166億ドル（6兆円）であった（表3）。この現代の文明をささえている石油開発に投入される毎年の費用の内海底油田だけで13兆円に昇り、アポロ計画が15年間にわたって投入した総費用は6兆円であり油田に投入される費用の半年分にしか相

表3 日米両国の主要大型プロジェクト

	1940年	1950	1970	1980	1990
* マンハッタン計画	← 4,500 →				
* アポロ計画	50,000		← →		
* スペースシャトル計画				← 20,000 →	
* VHSIC 計画				← 500 →	
IBM370 シリーズ対抗機種開発			← 800 →		
超 LSI 開発			← 300 →		
光 IC 開発				← 60 →	
次世代産業基盤技術開発				← 1,040 →	
「H-1」ロケット打ち上げ計画				← 1,400 →	
核融合研究			← 6,500 →		
動力炉開発			← 3,200 →		

数字は開発資金(単位:億円)。*印は米国, その他は日本の開発計画。

出典「新・産業革命, 日経新聞社

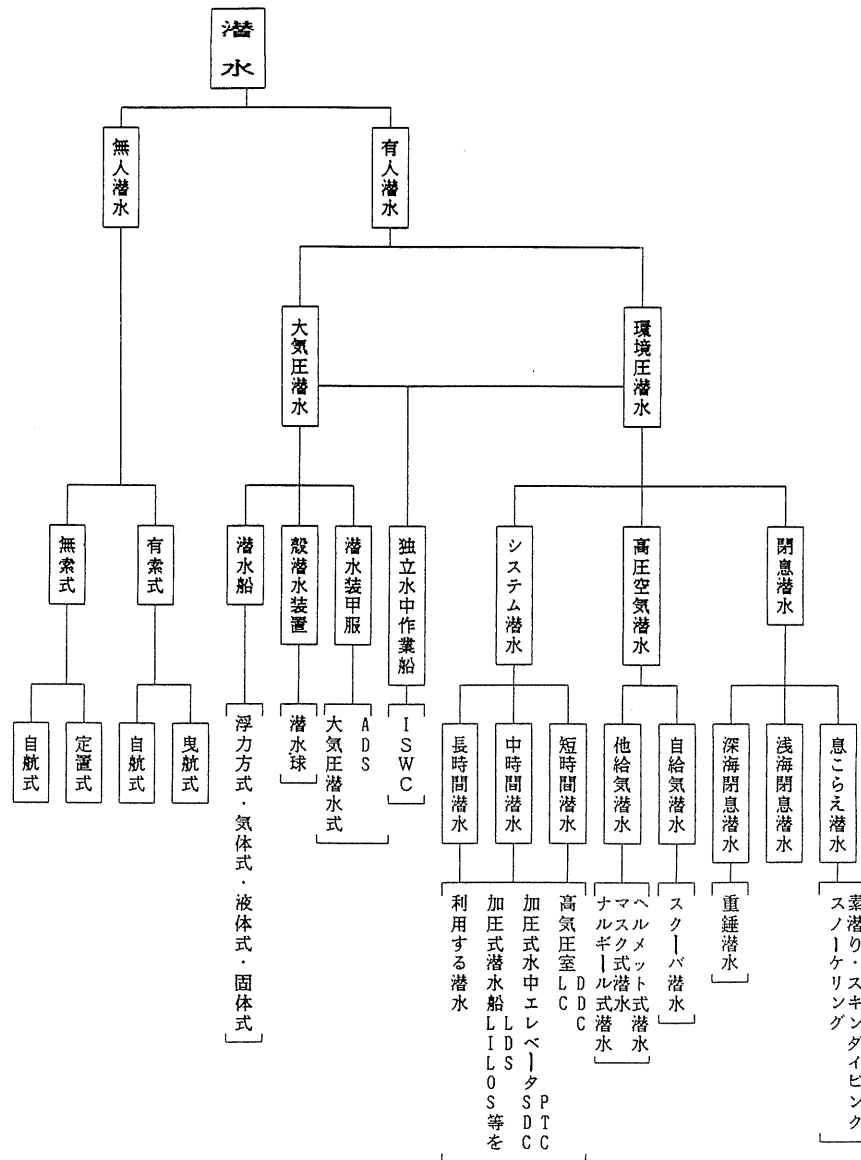


図3 各種の水中作業に手段として用いられる潜水方式

当しない。いかに石油が巨大な産業か判る。

1980年代は、海底油田の開発のためにさらに大規模な投資がなされている。この海底油田の開発や生産作業には、1970年代に開発された人間の環境圧潜水による海中活動技術が生かされている。また人間の海中作業技術の開発がなければ、海底油田の開発は大幅に遅れることになったであろう。

1990年代には、海底油田産業は、現在の石油産業くらいの規模に成長することが予想されている。そのためには、1980年代に人間によるさらに深い海中での水中作業技術の開発がなされなければならない。

1990年代の石油文明を発展させ繁栄させるため

には、どうしても人間のより深い海中での活動技術の開発に成功しなければならない大きな理由がここにある。

環境圧潜水

現在の石油文明を存在せしめさらに発展させるためには、人間による海中活動が重要な役割を演じていることを明らかにした。海底油田の開発に必要な潜水技術の中でも、特に環境圧潜水の技術がなくては目的とする水中作業を遂行することはできない。その理由は何なのか？潜水の目的や潜水方法の中の1つである環境圧潜水とは、どういう潜水なのか？この環境圧潜水の中でも海底油田の開発に必要な潜水方法はいったい何なのか？以

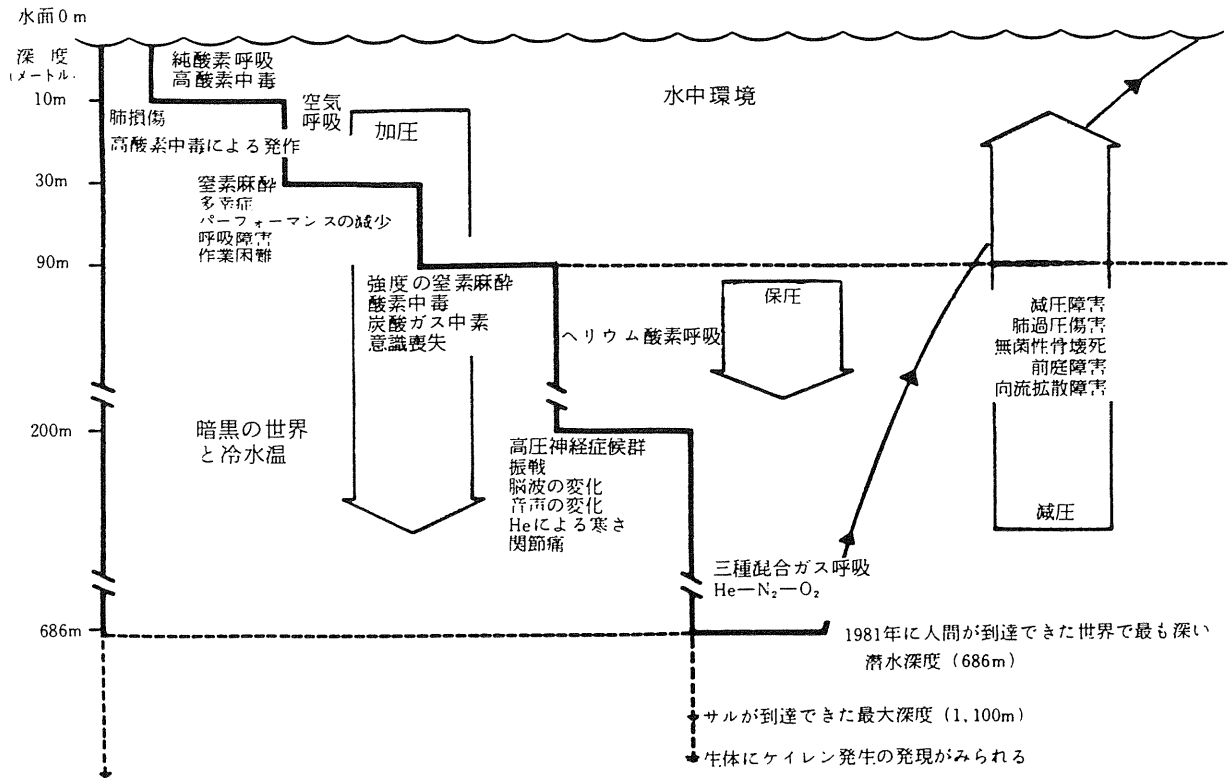


図4 1984年現在人間の潜水生理学的諸問題とそれらを克服することによって到達できた潜水深度

下これらの疑問に答えてみよう。

1. 潜水の目的

潜水(Diving)の目的は、水中作業(Underwater Operations)を行うことにある。水中作業とは、人間または機械が水中に潜入(penetration)してある任務を遂行して完了するまでのことをいう。

これらの水中作業を行うためには、人間や機械が水中に潜らなければならない。そのために、既にいくつかの潜水方法が開発されて実用化されている(図3)。

水中作業は、大きく分けて次のような手順に従って遂行される。

まず最初に水中作業を行う場合は、作業現場の探査(explorations)を行い、続いてより詳細な探索(searchs), 識別(identifications), 調査(investigations)が行われたのち水中工事(underwater works)が実施される。水中工事が終了すると水中検査(underwater inspections)が実施される。また水中作業終了後も引き続き定期的な保守整備(maintenances)がその作業場で実施される。

水中作業を健全にしかも安全に遂行するためには、水中という環境が人間や機械に対して示す共

通の原理を知っておかなければならない。それには、次のようなものがある。

- 1) 水中で有効な物理的力を発揮するのは、アルキメデスの発見した浮力だけである。浮力以外の力は、すべて陸上から持参して行かなければならない。
- 2) 水中では絶対位置を測定する方法がないことから、水中作業を行う場所の絶対位置(水面)と相対位置(水底)の測定値の誤差の範囲を1~5mに収めなければ繰り返して行う水中工事はできない。
- 3) 水中作業に参加する人間に対する救急治療はもちろんのこと機械に対しても、その潜水支援作業現場(水上)で修理、保守、整備、機能回復が可能な潜水の科学技術(特に水中機械は、単純で頑強でしかも国産のソフトとハードを持っていること。)を把握しておかなければならない。
- 4) 水中作業を効率的にしかも安全に遂行するためには、個々の水中作業に最も適した合理的な潜水方法の選択を誤ってはならない。
- 5) ダイバーは、潜水規範を守らないと種々の潜

水障害を引き起こすことになる(図4)。

6) 潜水という科学的な知識をもたないで水中作業を行うということは、無駄が多く、しかも、合理的な作業の遂行はできない。またこのような状況下では革新的な技術は生まれないことになる。

以上のような諸条件を満すような人と機械が一体になって初めて水中作業は、達成することができる。

潜水方法は、図3に示したように大きく分けて無人潜水と有人潜水がある。有人潜水には、環境圧潜水と大気圧潜水に区分することができる。ここでは、環境圧潜水について述べる。

2. 環境圧潜水 (Ambient Pressure Diving)

環境圧潜水とは、水中作業を行うために人間が高圧環境下(水中または高気圧環境)に暴露される任務を遂行する一連の行動をいう。

環境圧潜水は、大きく分けて閉息潜水、高圧空気潜水、システム潜水、独立水中作業船による潜水に区分することができる。

海底油田の開発に関係のあるシステム潜水とシステム潜水と大気圧潜水の優れた点を採用した独立水中作業船による潜水について以下説明する。

3. システム潜水 (Diving by systems)

システム潜水とは海上の潜水支援設備(船やプラットフォーム)、高圧設備(高気圧室、ガス圧縮機、ガス貯蔵用タンク)、潜水装置(加圧式水中エレベーターや加圧式潜水船)、懸吊架装置(起重機、架台)を有機的に組合せて行う潜水をいう(図5)。

海上のプラットフォームから行われる潜水ではプラットフォームを水中作業現場の真上に固定すれば問題はないが、支援船による潜水では加圧式水中エレベーターを目標地点の近く(実際には、目標地点の10m以内)に潜降させなければならない。そのためには目標地点に対する極めて正確な支援船との相対位置の検出が必要となる。

水中作業は、加圧式水中エレベーター、あるいは、加圧式潜水船(LILOS)によって作業現場まで運ばれた2~3人のダイバーにより所定の手順に従って開始される。水中作業の指揮は船上からなされ、ダイバーの行うべき作業手順を伝達する。ダイバーが水中へ出る場合、加圧式水中エレベーターあるいは加圧式潜水船との間を呼吸ガス供給用ホース、電話線および加温等の臍帯管綱(生命

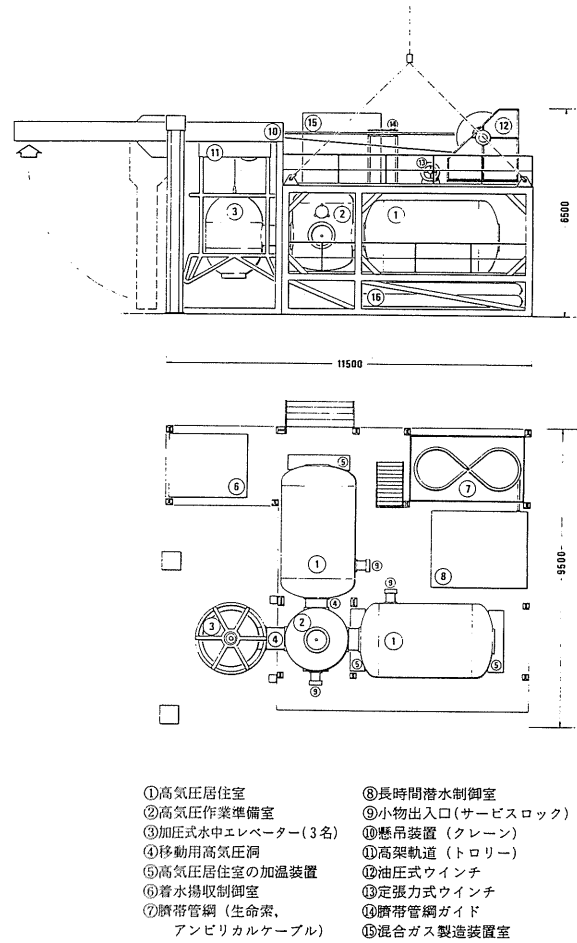


図5 システム潜水で用いられる諸装置
[このシステムは特に長時間潜水(飽和潜水)に用いられる]

索)により連結されている。

水中作業を終了したダイバーは、加圧式水中エレベーターあるいは加圧式潜水船に入室の後、船上まで運ばれ、船上の高気圧室と連結された後高気圧室に移動し、減圧が開始される。

この種の潜水は、高圧空気潜水方式のものと全く異なり、次のような特徴を持っている。

- 1) 潜水システムに関しては理論的にすぐれている。
- 2) 要員、設備が大がかりである。
- 3) ダイバーの活動範囲は、水中エレベーターや加圧式潜水船との間を臍帯管綱(生命索)で連結されるため10数メートルと限られている。
- 4) 装備が複雑であり、しかも大きく環境が変化するため、深海用のダイバーには、高度の潜水の科学的知識と技術が要求される。
- 5) 諸作業手順は厳格に決められている。

システム潜水には、大きく分けて3つの方法が

既に開発され実用化が図られている。

1) 短時間潜水 (Bounce diving)

この潜水の特徴は、加圧は海底に到達した後行われ、減圧も水中作業の終了と同時に海底を離れる時から開始される。減圧中のダイバーは、マスクにて呼吸を行い複雑な高気圧室内の環境ガスの制御等を行わなくてよいため、比較的簡単な装置で潜水することができる。しかしその反面、海底での作業時間は短く減圧は分単位の精度で実施しなければならない。

2) 中時間潜水 (Intermediate diving)

この潜水の特徴は、急速加圧で(短時間潜水と同一加圧速度)水中作業を1~2時間行い、減圧所要時間を1~2日間程度要する潜水をいう。この潜水方法は、水中作業時間が短くてしかも正確な時間を必要とする場合に利用される。

3) 長時間潜水(飽和潜水: Saturation diving)

長時間潜水は、非常に柔軟性のある潜水方法である。その大きな特徴は、水中作業時間をダイバーの作業に対する持続性のみを考慮に入れて作業計画を立てることができる。水中作業は、何日も繰り返すことができる。反面加圧には数時間を要し、更に減圧には大変長い時間が必要となる。このような潜水方法を用いて、フランス人のダイバーは1977年10月に地中海の深度501mで水中作業ができることを実証した。また、アメリカのダイバーは1982年2月に高圧シミュレーション実験ではあるが、深度686mの高気圧下で240wの筋作業を行うことができた。長時間潜水は繰返潜水や短時間潜水の潜水効率(作業時間/減圧時間)を改善し、ダイバーが繰り返して大気圧まで減圧されるさいの疲労を軽減させる。この潜水は、複数の水中作業地点が近い場合とか潜水深度がかなり異なる場合の作業に有利である。

今後、このシステム潜水の技術開発は、フランス、アメリカ、イギリスを中心としますます発展して行くものと思われる。

4. 独立水中作業船による潜水 (Independent Submarine Working Craft)

独立水中作業船による潜水とは、全天候性の環境圧潜水と大気圧潜水が実施でき、しかも水中で長時間にわたって作業のできる高い自給機能を備えた潜水システムを用いて行う潜水をいう。

環境圧潜水(閉息潜水、高圧空気潜水、システ

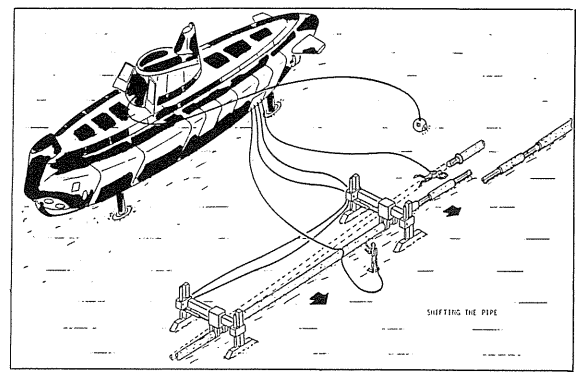


図6 SAGA-I号と呼ばれるCOMEX所有の独立水中作業船

ム潜水)や大気圧潜水(潜水船、殻潜水装置、潜水装甲服)の潜水支援方式は、全て海面から行われている。このような潜水システムでは、水中作業を行う範囲は極めて狭く、しかも海面の支援なくしては機能しないという欠点を持っている。1年間のうち30%以上は海上が荒天のため水中作業はできないことが知られている。

独立水中作業船は、年間の水中作業の稼働率が100%まで高めしかも水中作業を安全に効率よく確実に遂行することができる。このような潜水機能を備えた独立水中作業船は、既にフランス(SAGA-I号)、スウェーデン(URFSM351号)、ソ連(ベントス号)で建造されている。この独立水中作業船の性能は、全天候性でしかも航続期間が30日間、深度300m~600mの海底でダイバーが、4~10日間の環境圧潜水を行うことができる。1990年代の海底油田の開発においてこの独立水中作業船がダイバーとともに主要な役割を演ずることになる(図6)。

環境圧潜水と水中作業

人間が環境圧潜水によってより深い海底に潜らなければならないのは、次のような理由があるからである。

フランスの生んだ現代のコロンブスと呼ばれているドウローズ氏(53歳)は、海中開発について、「私は、水中産業の分野でまったく新しい潜水システムを1963年に開発した。これが、現在的水中活動の主流になっている。それ以後、より安全しかも効率のよい新しい水中作業システムの開発を1日たりとも忘れたことはない。私は、海中開発という新しい領域の開拓に手段として必要

な装置を、情熱と運命と偶然によってつくることのできた。私は、第7番目の大陸と呼ばれる新しい海底という大陸を人類の前に開くことができた。私の海中開発に対する情熱はもっと深く、もっと広く、そしてもっと長く海中に滞在することの出来るシステムの完成へと日々つるばかりである。」彼は、真に世の中に進歩と安全をもたらす人間として、ともに涙を流す聖者と違って、勇氣と先見とで人を動かし、世の中を引っ張って行く人である。自らの決断と責任に賭ける自助の精神をもって、海中開発の世界のリーダーとして活躍している。彼はまたいう。「人間を環境圧潜水によって深度1200mの海底まで1990年に送り届けるための潜水技術の開発を行うのは、私（ドウローズ氏）が世界一になるためでも、チャレンジ精神を満足させるためでも、企業の宣伝でもない。水中で産業として存在し、繁栄して行くための作業を行うことのできるモノは、人間以外にないからであり、海底油田産業が、原油生産システムを海底に設置し、稼働させるための一連の水中作業に関する技術開発を潜水業界に求めているからである」と。水中作業は、水中での任務を安全にしかも効率よく終了しなければならない。さらに水中作業は、行うべき場所の探査、探索、識別、調査を行って、所定の水中工事、完成検査、毎年の保守整備といった一連の作業を遂行し続けなければならない。人間にかわって無人潜水機と呼ばれるロボットが産業の分野で活躍できるのは、視覚的な観察、簡単なバルブの開閉作業のようなものしかない。ドウローズ氏は、人間なくして水中作業が完遂するという事は過去も、現在も、将来もありえないといきえる。その理由として次の7項目を挙げている。

- 1) 水中環境では、T・Vカメラを介しても人間は平面の世界しか見ることができない。反面、水中の人間は3次元の視覚を持ち、同時に行動することができる。
- 2) ロボットのマニピュレータの自由度は90°~180°しかなく、人間は360°自由に活動できる。
- 3) 水中で通常ロボットは、中性浮力で停留しているため、作業部位とロボットの相対位置の制御が難しい。反面、水中の人間は、3次元の移動が可能で、陸上よりも水中での作業がやりやすい。

- 4) 水中作業場には、ロープ類が散乱しており、このロープにロボットが遭遇すると全く機能を停止することになる。人間はロープがどんなにからまってもほどこき、整理、除去することができる。
- 5) ロボットは海流のある所では停留して作業することは不可能である。
人間は、ロープで体を固定して水中作業をすることができる。
- 6) 水中作業環境は、毎回、毎日、毎時、海流、透明度、構造物等が変化している。
そのため、ロボットにとって大変困難な作業環境となる。反面、人間の場合、そのつど作業環境に対応した仕事を行うことができる。
- 7) 一般的に、水中作業を行う環境は、全作業日数のうち30~40%は、海底の懸濁物質のため全く視界がきかない。また、ライトを使用しても、全く見えない。

そのため、目で確認しながら行う作業はできない。反面、水中の人間は、素手の触覚を利用して、目で作業物体が見えなくても、水中作業を完遂することができる。

海中は生きものである。水中作業が産業として発展するには、ダイバーなくしては不可能なのだ。ただし、科学、軍事、救難、危険物の回収、数千万ドルのロケット回収、流れの速い潮流の中、経済上の利益を度外視した場合などには、今後も水中ロボットの活用は期待されるだろう。

ドウローズ氏は彼の次の目標である深度1200mの環境圧潜水の技術開発に向かって、何ものにも動ぜぬ勇氣、確固たる信念と決断と計画性に基づいて取り組んでいる。

結 論

日本の海中活動はわずかに港湾作業、水産等があるにすぎない。特に水中作業機器に関する技術開発は欧米と比較して約10年以上の遅れがある。この大きな理由は、水産、港湾作業を除いて海中から経済的利益を生み、しかも再生産活動に耐え得る産業がまだ存在しないことである。その大きな理由は、日本の領海内に大規模な海底油田がまだ発見されないため、この海底油田に関連した水中作業の研究開発が遅々として進まないものと思われる。しかし、日本と同様にフランスも自国の

領海内や経済水域内に海底油田を持たない国である。にもかかわらず海底油田産業になくはならない最新の海中活動技術をフランスは持っている。この最先端の海中活動技術を持つことによって、フランスは安定した石油の確保に役立っている。

1990年には、極東の中国の渤海湾からインドネシアにかけての沖合いの海底油田からの石油の生産量は、世界最大規模になるという(図10)。この海底油田の開発になくはならない水中作業技術を日本は早急に確立しなければならない。日本が極東における海中活動の最先端技術を持つことによってフランスと同様に安定した石油の確保につながって行くものと思われる。

[参 考 文 献]

- 1) 朝日新聞経済部：新エネルギー事情，朝日新聞社，p1-349，1978.
- 2) 岩佐三郎：北海油田，日本経済新聞社，p1-178，1975.
- 3) エネルギー資源問題研究会：エネルギー戦国時代，電力新報社，p1-158，1983.
- 4) オコナー・R：オイル・ビジネス，富岡隆夫，三露久男訳，サイマル出版，p1-298，1978.
- 5) 海洋産業研究会：海洋開発産業界，教育社，p1-267，1977.
- 6) 鬼頭 宏：「日本の人口」おもしろ話，月刊文芸春秋1984年3月号，p336-342，1984.
- 7) シュバリエ・J.M：石油危機時代，青山保，友田錫訳，サイマル出版会，p1-247，1975.
- 8) 関 邦博：潜水調査，環境圧潜水，海洋土木大事典，産業調査会，p121-127，1983.
- 9) 関 邦博：深海潜水に挑む，月刊雑誌ダイバー1983年8月号，p117-120，1983.
- 10) 関 邦博：人間の海中活動，臨床のあゆみ Vol4，No4，p25-26，1984.
- 11) 瀬島龍三，屋山太郎：1990年末曾有の国難が日本を襲う，月刊現代1982年10月号，p122-131，1982.
- 12) 石油公団・石油鉱業連盟，石油開発関係資料1984，石油通信社，p1-207，1983.
- 13) 芹沢長介：日本旧石器時代，岩波新書，p1-232，1982.
- 14) 千田広志：エネルギー産業界，教育社，p1-256，1982.
- 15) 通商産業省：昭和57年版通産白書，大蔵省印刷局，p1-503，1982.
- 16) 網淵昭三：瀬島龍三の魅力，ビジネス社，p1-222，1982.
- 17) 並木信義：検証石油危機時代，日本経済新聞社，p1-241，1983.
- 18) 日本科学者会議編：日本のエネルギー問題，大月書店，p1-282，1980.
- 19) ネルソン・スミス.A：石油汚染と海の生態，紀伊国屋書店，p1-311，1977.
- 20) 藤原 肇：石油危機と日本の運命，サイマル出版会，p1-246，1973.
- 21) ベリー・Y 他：潜水学，関 邦博訳マリン企画，p1-323，1982.
- 22) 室田泰弘：エネルギー，教育社，p1-430，1984.
- 23) 依田 直：石油とエネルギーのことがわかる本，日本実業出版社，p1-235，1980.
- 24) Bennett P.B., D.H Elliott：The physiology and medicine of diving, Third Edition, Baillière Tindall, p1-570, 1982.
- 25) Brady E.M：Marine salvage operation, Cornell Maritime Press Inc, p1-237, 1979.
- 26) Cartier R：l'homme et la mer, Larousse, p1-395, 1973.
- 27) Cayford T.E：Underwater work, Cornell Maritime Press Inc, p1-258, 1966.
- 28) Cox R.A.F：Offshore medicine, Spinger-Verlag, p1-208, 1982.
- 29) Comité national de l'OPPBTP：La plongée professionnelle dans les travaux publics, Paris ed Comité national de l'OPPBTP, 1977.
- 30) Goodfellow R：Underwater engineering, Petroleum Publishing, p1-155, 1977.

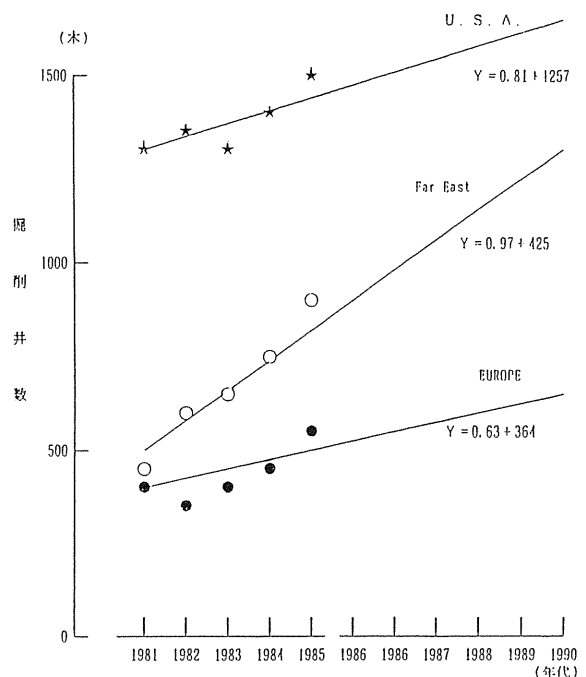


図10 世界の海底油田の開発のために毎年掘削される石油井戸の数と年代の回帰直線，1990年代においては，極東の石油掘削井数は現在のアメリカ並に達する。

- 31) Haux G: Subsea manned engineering, London: Bailliére Trindal, p1-538, 1982.
- 32) IFP: La plongée profonde, Technip, p1-397, 1970.
- 33) Kenny J.E: The business of diving, Gulf publishing loup, p1-302, 1972.
- 34) La Prairie Y., M. Bruzek: le nouvel homme et la mer, édition Mengés, p1-305, 1977.
- 35) Penzias W., M.W. Goodman: Man beneath the sea, Wilay-Interscience, p1-831, 1973.
- 36) Perrot J: la mer pour la vie des l'hommes, Larousse, p1-159, 1978.
- 37) Riffaud C: Demain la mer, l'ecole des loisirs, p1-354, 1972.
- 38) Shilling CW et al: The Underwater handbook, plenum press, p1-912, 1976.
- 39) U.S Navy: U.S. Navy diving manual, Best bookbinders, 1979.
- 40) Ziuhowski N.B: Commercial Oil-Field Diving, cornell maritime press, p1-316, 1978.

〔参 考 写 真〕

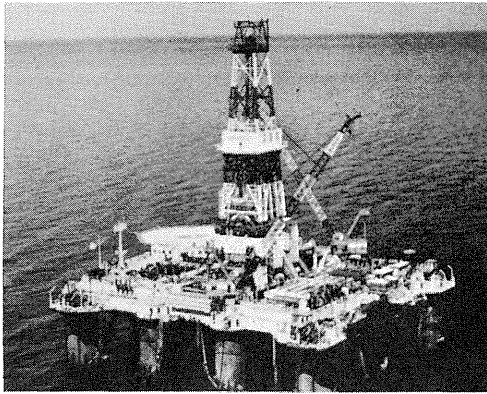


写真1 わが国が所有する海底石油掘削船第5白竜号

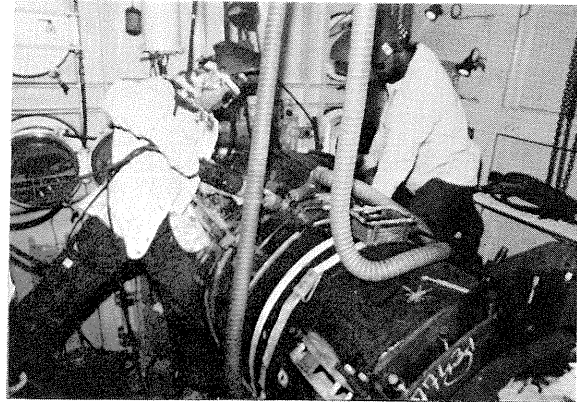


写真3 北海の深度134mの海中に敷設された直径90cmのパイプラインの溶接作業を行う高圧環境下の溶接ダイバー (COMEX 提供)

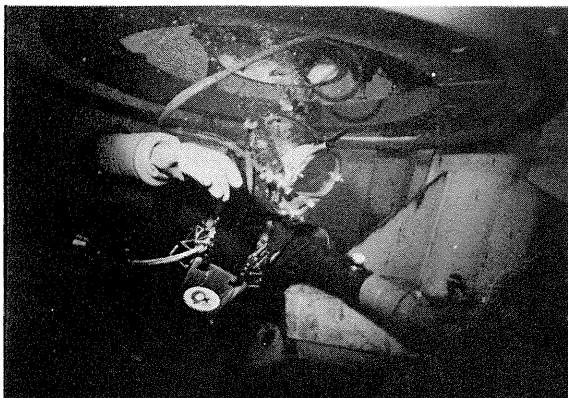


写真2 北海の海底油田のパイプラインの敷設の支援の水中作業を行うためにダイバーが水中エレベータから外に出たところ (COMEX 提供)

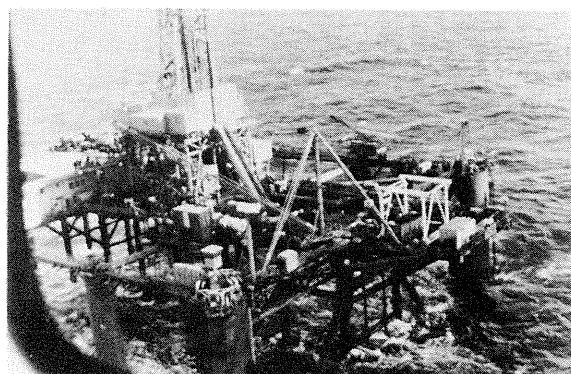


写真4 潜水支援船, アンクル・ジョン号は深度300mまでの環境圧潜水の出来る潜水システムを搭載し, 12名のダイバーが交互に24時間の連続の水中作業ができる。(COMEX 提供)

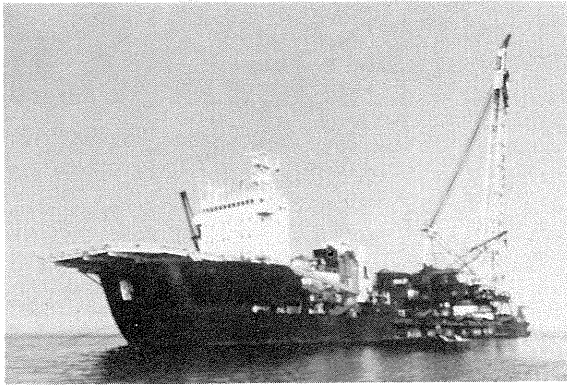


写真5 潜水支援船 ETPM701号に搭載された深度 450m までの環境圧潜水のできる潜水システムと 100t クレーン (COMEX 提供)

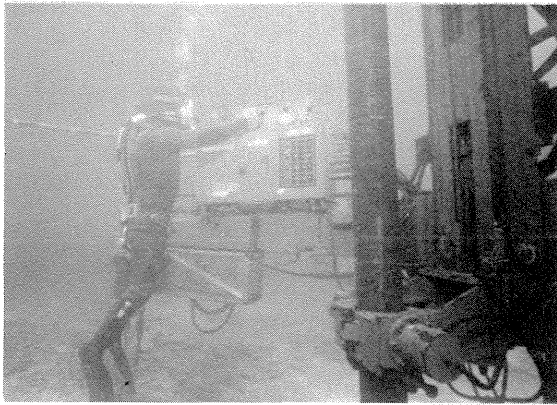


写真6 海底に敷設された石油パイプラインの固定を行うために水中掘削機を操作するダイバー (COMEX 提供)

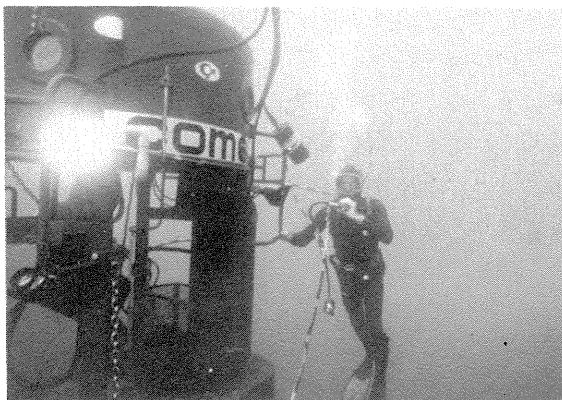


写真7 1983年7月1日, Hydra-IIIと呼ばれる水素酸素混合ガス呼吸による潜水実験で COMEX の代表でもあり, ダイバーでもあるドウローズ氏 (54歳) がマルセイユ沖の海中深度 91m で水素 97.5%, 酸素 2.5% の混合ガス呼吸を行った。

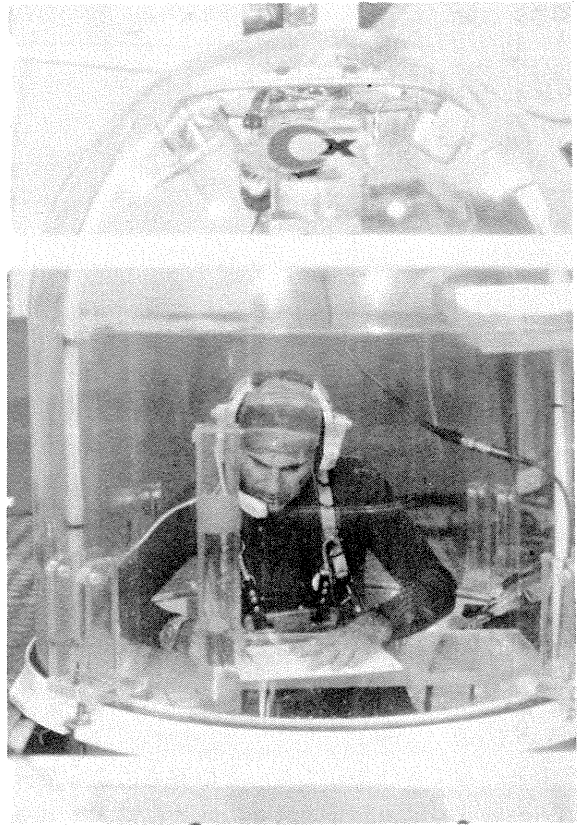


写真8 水深 300m 相当圧下で水素 (74%), ヘリウム (24%), 酸素 (2%) の混合ガス呼吸を行い心理テストを受ける COMEX のダイバー (1983.10, COMEX, Hydra-IV)



写真9 水中 610m の高圧環境下で水中作業を行うダイバー (COMEX とフランス海軍の共同実験 ENTEx-9, 1983, 6)