

21世紀に向けて 技術者教育に問われていること

環境資源工学会 会長
野口 康二

昨年11月、日本工学教育協会、日本工学会などを中心に、JABEE (Japan Accreditation Board of Engineering Education) が発足しました。JABEEは、日本の大学におけるエンジニアリング教育を第三者の立場で評価し、認定(アクレディテーション)した教育プログラムを公表する機関として、その活動を開始しようとしています。

最近の、市場の拡大や経済の国際化は地球規模で急速に進んでおり、国境を超えた問題での様々な障害をなくすため、ISOなどの規格基準ばかりでなく、技術に関しても国際的な相互認証が必要となってきました。

JABEEが参考に行っている、例えば米国の制度(ABET2000)では、エンジニアリングに係わる教育プログラムに具体的な教育目標の基準が設定され、それに基づいて第三者民間機関であるABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) が、大学による自己点検結果と実状とを審査して評価し、教育プログラムの認定を行っています。また、エンジニア資格については、ABET認定を受けた教育プログラム修了者にFE (Fundamentals of Engineering) 試験の受験資格が与えられ、これに合格したのち4年の業務経験を経て、PE (Professional Engineer) 試験に合格すればPE資格が取得でき

るというものです。

このように海外では、エンジニア資格の取得とエンジニアリング教育に係わる認定制度が、すでに存在しています。また、エンジニア資格に関連した各国の認定制度を相互承認しているという動きも活発化しています。さらに、このエンジニア資格の国際的相互承認の前提として、エンジニアリング教育の相互承認が、おもに米国や英国の認定制度に基づいて行なわれ、それが世界的に拡大していく傾向にあります。

ご承知のように、日本には技術士制度が存在しています。しかしながら、これには、資格取得の前提として、教育プログラムに関する条件はありません。それを必要としなかった理由として、これまで国内の企業は、それぞれ就職学生の出身大学を独自に(適確に)判断することができ、また、海外資格との相互承認の必要性も低かったためなどといわれています。

21世紀、資源の乏しいわが国において、国内産業や国民生活の水準を維持し、向上させていくためには、国際的に競争力のある産業技術が不可欠です。資源産業においても、競争力の維持、向上に努めてきてはいるものの、国際競争は激化の一途をたどっています。

わが国が、国際競争の中で海外資源開発を推進し続けるためには、優秀な技術者を育ててい

く必要がありますが、国内鉱山が激減している現状では、技術の継承や育成は困難を極めることとなります。したがって、国際的に通用する技術者の育成はこれらの難題を打ち崩すために極めて重要な課題です。資源の安定供給確保が引き続き叫ばれ、環境調和型循環社会構築の気運が高まる中で、資源探査や地球環境保全などの海外技術協力において、国際的なエンジニア資格を持った技術者の活躍に大きな期待が寄せられます。

ところで、「分数ができない大学生」(東洋経済新報社)という本によれば、いわゆる一流大学の学生でも、入学試験の受験科目に数学がなかったという学生の五分の一は、分数の計算も出来ないとされています。このような大学生の学力崩壊は、入試制度そのものに原因があることは否めませんが、その背景にある社会や教育全般に見られる価値判断基準の誤った多様性や許容性に起因するのではないかと思います。

子供の好きなようにやらせたい。他人に迷惑をかけさえないければ何をやってもよい。やりたいことも、やりたくないことも、何でも思い通りにさせてくれる物質的なサービスが蔓延している社会の中です。そして子供たちは、次第に何かの囲いの中に封じ込められ、あるいは管理されないことに不安を感じながら、どこにもあるコンビニエンスストアで買い物をするように、どこかに必ずある正解を探しているようです。マニュアル化された判断基準の中で、とりあえず必要なことだけを必要な程度にやればよい。

「教育とは、教わったことを全部忘れた後に、それでも残っていることをいう」という言葉を

ききました。教育には訓練があり、それに対する忍耐や努力が必要とされます。それに続く達成感や、さらにその先にある自己に夢や価値を乗せるエネルギーは、その残っているものが生み出していくのだらうと思います。おそらく家庭や学校や社会の中のどこにでも用意されている、必要なことだけを必要な程度にやればよいという価値判断が、夢をかなえるために立ち向かっていく意欲と価値とを見失わせる要因の一つとなっているようです。そして、夢に向かう以前に、その困難さに疲れ切ってしまうかのようです。

JABEEの発足は、次の世代の技術者を育てるために必要な教育の中身を、あらためて考えるきっかけとなりました。大学における教育プログラムの認定制度が、少なくともわが国の大学の格付けに繋がっていくという懸念は否定できませんが、エンジニアリング教育を磨き上げ、またエンジニア資格の国際的な相互承認を積極的に進める状況が生み出されることで、卒業生の活躍の場を広げていくことになると考えます。今後も、大学や大学生が問われていく問題は少なくないと思いますが、教育の先にある広がり、留学生達の持つ遅い夢に、さらに多くの学生が気づいてくれることを期待するところです。

環境資源工学科では、Mining Engineeringなどに関する教育プログラムを有する学科として、JABEE認定への対応を検討し始めています。21世紀に向かう環境資源工学科に、あらためて会員皆様のご指導、ご支援を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

2000年の環境資源一次世代へ健全なる大地を残すために

千葉県水質保全研究所地質環境研究室 香村 一夫

1. 1900年代後半におけるdrasticな地質環境の変遷—人工的に造られた地盤—

私は、1970年代半ばに資源工学科を卒業し、現在は環境面を取り扱う千葉県の研究所に勤務している。

千葉県はわが国でも環境変化の激しい県の一つに数えられる。とくに東京湾に沿った地域の環境は1960年代のいわゆる「高度経済成長期」を境に大きな変化を示した。この地域は地理的にも社会経済面からも首都東京の一翼を形成していたことから、湾岸と内陸の両域において開発や土地改変が急速に進んだのである。

1950年代初頭の房総半島の東京湾沿岸北部域は、潮の干満で岸から数km沖合いまで干しあがったり冠水したりする干潟が広がり、その恩恵により、水質も良く、魚介類の宝庫となっていた。しかし、この干潟は浚渫による埋め立てにも好都合であったことから、1950年代後半以降、この地域において埋め立て造成が始まった。その埋め立て方法は、沖合い海底の浚渫砂泥を海水とともにポンプ船で吸い上げ、排送管によって土留め柵で仕切られた埋め立て計画区域内へ運び、そこで管口から吐き出す。吐き出された土砂のうち、粗粒あるいは比重の大きいものは吐き出し口付近に堆積し、ヘドロなど細粒のものは吐き出し口から遠方へと運搬され、沈殿する。そしてこの吐き出し口は随時移動され、埋立地が造られていった。また現在、埋立地先の海域は青潮の発生しやすい場となっている。これはこの海域の海底随所に残存する、浚渫で掘

られた15～30mの窪みが原因であり、干潟消滅により激減した魚介類にさらなる被害をもたらしている。

つぎに前述の湾岸域の後背地に目を移してみよう。開発前には、平野部に水田、台地部に畑や雑木林が広がり、おもな集落は鉄道や主要道路に沿って分布していた。しかし、海浜域の埋め立てが進むに伴って、内陸部でも開発が進み、おもに台地と沖積低地の境界部で土地改変が進んだ。その改変のしかたは周辺台地部を切り崩して谷部に埋め立てるといった組み合わせが主であり、全体としてなだらかな地盤形態の人工造成地が各地に建設された。

また、台地に樹枝状に入り組む沖積低地の谷頭部は土地造成ばかりでなく、廃棄物の埋め立てにも好都合であった。前述したようにこの地域は、消費都市東京に近接し、家庭のごみなどの一般廃棄物や汚泥、廃プラスチック、建設廃材等の産業廃棄物が多量に発生・搬入される場にあたる。千葉県環境部に届けられた最終処分場は房総半島全域で33ヶ所存在し、うち安定型処分場は20ヶ所、管理型処分場は13ヶ所存在する(千葉県環境部、1996)。なお廃棄物埋め立てに関してのこのような規制は1970年代半ば以降実施されたものであり、それ以前の処分場に対しては適用されていない。このような規制実施以前に埋め立てられて閉鎖された処分場や不法投棄してできた廃棄物サイトも、この地域には多数分布している。

2. 地質環境の変遷に伴う新たな環境問題の発

生

前章に述べたような人工的に造られた土地は一般に「人工地盤」と呼ばれる。ここでは、この人工地盤を形成する地層を「人工地層」、従来の堆積層を「自然地層」と呼ぶことにし、区別している。

さて、これらの人工地層は、その形成過程から、層相は不均一で側方や上下方向への変化も著しい。湾岸域の埋立層では沖合い海底の浚渫砂泥による埋め立てといった工法を反映し、砂質な部分とシルト質や粘土質な部分が不規則に混在する。また、谷埋め盛土層はおもに谷周囲の台地や丘陵部を掘削した土砂を埋土材として用いていることから、層相変化が著しいとともに、層構成の逆転を生じている場合も多い。即ち、谷底平野谷筋部においては表層部を構成する沖積層の上位に更新統の地層を材料とした盛土層が重なり、その盛土層の内部も本来堆積年代の古いものの方が上位に存在している。さらに、廃棄物層や残土層では、様々な物質が不規則に入り混じることが多く、埋め立て物質の種類が時代や世相を反映していることもある。

そして、このような人工地層のもつ特性が人工地盤における様々な災害や環境問題の誘因となっている。たとえば、海浜の埋立層および谷埋め盛土層では地層の圧密による地盤沈下、地震時における地層の液状化・流動化の問題、廃棄物処分場ではこれらの埋め立て物質による周辺環境への汚染問題などである。

これらの問題に対処するために、今日まで様々な方法が研究・開発されてきた。しかし、それらのいくつかは、未だに高度経済成長期の「自然を技術力で封じ込める」といったベースの上に構築されている。後章では、前述のような環境問題に対して今後どのような対応が重要であるかについて、地下の環境汚染や地層の液状

化・流動化の問題を例に、現在の取り組み姿勢をベースに私見を述べることにする。

3. 新たな環境問題への対応例

(1) 地下の環境汚染問題への取り組み

人間にはもともと臭いものにはふたをするといったような習慣があり、地中に不要物や汚物を埋めるといった行動もそこに端を発しているように思える。

近世までのそれらの行動は自然の摂理に合致していたともいえ、地中に投棄埋設あるいは浸透させた物質の大部分は地中処分後容易に化学分解し自然界へと戻っていった。しかし、近世以後の工業化・都市化といった人間の生産活動から生まれてきた物質からなる不要物はこの摂理に合致しないことが多く、地中への処分後、いわゆる「廃棄物層」として残存するとともに、地中の環境を汚染させる根源となった。

その一つとして、近年、有機塩素溶剤による地下水への汚染問題が新聞紙上を賑わしている。ここでは、この問題に焦点をあて、筆者らが対処してきた事例を示す。

有機塩素系溶剤は、「強洗浄力」「揮発性」「不燃性」といった利点を有する。わが国では1970年頃から、半導体工場、電気工場、クリーニング業などで盛んに用いられ、使用当初は法律上有害でないという認識のもと、使用済み溶剤の多くは地下浸透されてきた。しかし、1980年ごろ、半導体工場の密集する米国シリコンバレーにおいて地下水がこの種の溶剤で汚染されていることが判明した。そしてその地下水を使用している住民には、心臓病、先天性異常児、流産などが多いことも明らかとなった。1984年、WHO（世界保健機構）は、この種の溶剤に発ガン性のあることを認めた。わが国でも、WHOの認識を受けて、同年厚生省が水道水の暫定水質基準を設けた。これに伴い、各自治体で地下水質の調

査が始まったわけである。現在、汚染サイトは全国で数千ヶ所以上に上るといわれる。しかし、目にみえない地下での出来事であるとともに、汚染源は既に地中にあることから、排出規制などの従来の公害対策では対応不可能であった。新たな調査対策方法が試行錯誤で開発されてきたわけである。

その過程で、この溶剤による地下の汚染には、三種の様態があることが判った。即ち、地表から地下水面に達するまでの地層の間隙にある空気がこの溶剤からの揮発物質で汚染されている状態、砂やシルトなどの地層構成物質そのものにこの溶剤が浸透している状態、および地下水がこの溶剤で汚染された状態である。そしてこれらの状態に適応した調査対策法が開発されてきた。

筆者らの研究室では、地下の環境汚染調査はつぎの三原則に基づいて実施されるべきであると提唱している。その原則とは、①帯水層単元の確立、②地下水流動系の解明、そして、③汚染物質の移動経路の解明、である。これらは、既存井戸の調査から始まり、地質ボーリング、設置した観測井からのデータなどをもとに明らかにされていく。また、地下表層部の間隙にある空気の汚染状態を知るために、「君津式表層汚染調査法」と呼ばれる方法も開発されてきた。

詳細な調査により地下の汚染状態を確認したうえで、次のような浄化対策が講じられる。①汚染源の掘削除去、②地下に存在する汚染空気の吸引、③汚染地下水の揚水および曝気処理、である。また、地層自体を固化し汚染物質を封じ込める方法や、地中に存在するバクテリアを活性化させ、そのバクテリアにより汚染物質を分解し無害化する方法なども開発されてきた。

これらの調査方法や浄化方法の各過程には、地質、土木、農学など様々な領域の知識や技術

が活かされており、いわゆる「縦割り」の学問体系では対応しきれないものであった。そのほか、米国などでも汚染の調査法や浄化対策法などが開発されている。しかし、大陸とわが国のような島弧では地下地質の形成過程が異なり、他国で開発された技術をそのままわが国の汚染サイトに適応することは難しい。

地下水の流れは遅い。環境問題が世の中の重要課題となる以前の高度経済成長期ごろに、人間が大地に施した汚染行為が長年月経って顕在化してきた。有機塩素系溶剤による地下の汚染だけに注目しても、調査法や浄化対策にこれから更なる発展が期待される。

(2)地震時の液状化・流動化への対応

この現象は太古の昔より大地震時には生じており、新たな環境被害というわけではない。しかし、「災害は進化する」といわれるとおり、現在では比較的小さな地震においても、人間が自然に働きかけて造った地盤で液状化・流動化が生じている。たとえば、1987年の千葉県東方沖地震では、地震の規模がマグニチュード6.7と比較的小さかったことから、東京湾沿岸の埋立地をはじめ、利根川の河川改修による埋立地など、人工的に造成した地域に地層の液状化・流動化が集中した。また、それまで液状化は低地部に起こるものと考えられていたが、この地震では内陸谷部の盛土造成地でも発生した。即ち、長い地質時代を経て形成された自然地層より、人間の造った地盤はこの現象に対して脆いことを改めて示したことになる。また、5年前の兵庫県南部地震では、埋立地や人工島など広範囲で液状化・流動化による被害がでたことは、まだ記憶に新しいところである。

現在、我々は巨大な技術力で自然を改変し、そこに災害が生じると、また新たな技術力でそれに打ち勝とうとしていることが多い。しかし、

これからの防災都市造りを考えるうえでは、巨大な技術力による自然改変・防災対策ばかりでなく、地質環境を十分に考慮した、都市計画が必要であることを、前述の現象は物語っている。埋立地に関していえば、「滞の部分は親水空間として残し埋立層を厚くしない」、「液状化し難い埋立て材料を考える」、など、自然や現象に配慮した方策が重要となる。また、この現象による日常生活への影響軽減も重要な課題である。上水道や下水道などのライフラインの損傷は、人間のくらしの根本を揺るがすものだからである。

過去におきたこのような災害を十分に調査・考察して、都市の土台をなす地下地質との関連で解析し、その結果をこれからの地域計画に生かす努力が大切といえよう。

4. おわりに

環境資源工学という一見捉えどころのない幅

広い学問を選択した我々は、これからの地下に関する環境問題を考える上では、重要な位置を占めている。なぜなら、我々は、地質学のもつ時系列的にもものを見る力と場を把握する力、物理、化学、生物などの基礎理学を蓄った力、そして工学的な応用面を知識のベースとしてもっているからである。そして前述の環境問題の解決には、これらを組み合わせる能力が必須なのである。勿論、その能力は人間的な感性の充分なる養成のもとに発揮されることはいうまでもない。

2000年代の環境資源工学が取り扱うであろう問題の一面を、自らの仕事を基に紹介した。地球の環境を考えるには、評論ではなく、まず自らの足元—自分の携わっている仕事など—から紐解いていくことが重要である。“think globally, act locally”の精神である。

2000年の環境資源—石油開発産業の行方

帝国石油株式会社 山下恵司 (昭和45年卒)

(1)はじめに

石油（含む天然ガス）開発産業に就職を希望する人にとって、将来、産業がどうなるか漠然とした不安があると思います。30年前、私の就職時期には日本の石炭産業は全くの斜陽でした。勿論、就職する人もいませんでした。今、皆さんが石油開発産業をどのような目で見ているかは知りませんが、もし同じような不安を持っていたら、それは全くの杞憂です。

日本の石油開発産業の現状は当時の石炭産業とは全く違います。各企業の国内外での探鉱開発に係わる活動状況、確認埋蔵量の保有量、石油や天然ガスの生産量、その競争力や採算性、経営指標から見れば明らかです。斜陽の兆候はどこにもありません。資源は有限ですから皆さんはもっと遠い将来の事を心配するのもかも知れません。その答えは堺屋太一氏の著書「組織の盛衰」にあります。氏は本の中で日本の花形産業であった石炭産業が衰退した原因を分析しています。産業界を取り巻く様々な状況変化はありましたが、主役である産業界または企業が最優秀な経営資源を石炭産業内部の改革のみに注いだとせいと断じています。現在の石油開発産業はその辺をよく学習しており、昨今の社会情勢の変化からも様々な事業展開を模索しております。石油開発の各企業は総合エネルギー供給会社になるべくベクトルの軸をしっかりと固めています。

しかし石油開発産業の今後の変化を具体的に

予測することは大変に難しい話しです。数年前まではメジャーの合併など夢にも思いませんでしたし、この先、何が起こるか想像つかないのが正直なところです。以下に現在の石油開発産業がどのような事業環境にあるのか、埋蔵量、探鉱開発事情、エネルギー事情の面より述べてみました。そこから産業の将来像を類推し、参考にして戴ければ幸いです。老婆心ながら一言述べさせてもらえば、今後の石油開発産業には皆さんを待っている仕事は山ほどあります。しかもそれは挑戦しがいのあるタフな仕事になることは間違いありません。

(2)石油、天然ガスの埋蔵量

出典によって違いがありますが、数値も丸めてありますが、世界の石油可採埋蔵量は1~1.3兆バレルと言われています。年間生産量が約250億バレルですのでR/Pが40~50年となります。また石油の年間生産量は毎年微増していますが可採埋蔵量も毎年増え、R/Pが40という下限の数値はここ10年、殆ど変わりありません。また可採という概念は経済的な回収率が前提とされていますから将来、長期間安定的に石油価格が30ドル/バレル以上を推移することになれば、旧油田の再開発やEORが活発に行われ石油の回収率が増え、R/Pは伸びる方向に働くこととなります。その他に非在来型と言われているオイルシェール、オイルサンドが北米、南米を中心に世界各地に賦存しております。ある前提条件では可採埋蔵量は合わせて5兆バレル

とされています。

天然ガスの可採埋蔵量は5000～9000兆キュービックフィート、年間生産量が80兆キュービックフィートですのでR/Pが60～100年です。天然ガスの場合、未探鉱地域が多く可採埋蔵量はまだまだ増える可能性があります。この他にメタンハイドレートも将来は天然ガス埋蔵量の対象に入ってくるかも知れません。このように埋蔵量から見て石油開発産業がその不足で衰退することは考えられません。

(3)最近の石油探鉱開発事情

油ガス田の成立条件として熟成根源岩の分布、移動経路の存在、貯留岩の存在、トラップの存在が必要です。この組み合わせさせたシステムをここでは便宜的に地質構造と呼ばせて貰います。概ね世界の陸域または浅海域での単純な地質構造の探鉱は最終段階に入っており、新規発見の可能性は少なくなってきています。現在は地震探鉱でもその解析が困難な複雑な地質構造の探鉱に移ってきています。特に国内陸域では大深度でかつ複雑な地質構造が探鉱対象になっていますので、油ガス田の発見は大変困難になってきています。一方、発見してもその開発が難しい深海域では単純な地質構造の探鉱は現在も活発に行われています。昨今のメキシコ湾やアフリカ西海岸沖での大油田の発見はその成果です。

ここ10年位、国際緊張の緩和や情報通信の発達により各国の経済や生活がグローバル化し、ナショナリズムも緩んできました。このような国際環境の変化により、一部産油国において石油利権を独占していた国営石油会社が制度改革や部分民営化を国家より許され、石油開発企業にとって海外での探鉱開発事業の環境が大きく変化してきました。旧ソビエト連邦、ベネズエラ、ブラジル、インドネシアなどの国々です。

例えば1996年にはベネズエラでPDVSAという国営石油会社が独占していた鉱区を外国企業に公開しました。またソ連邦崩壊後、カスピ海周辺の中央アジア諸国も自国の鉱区を外国企業に公開しました。現在、ベネズエラやカスピ海周辺では入札に勝った外国の企業連合が活発に探鉱活動を行っています。

このように現在、陸域の深部または複雑な地質構造、水深500～1000mの深海域、産油国での既存油田周辺が石油探鉱の対象となってきていますが、探鉱リスクが高いことや発見後、商業生産する際の開発投資額が大きいことなどより石油開発企業一社では事業を展開できない環境になってきています。またカスピ海周辺やベネズエラにおける既存油田周辺の探鉱開発は新地域に比べて探鉱リスクが小さく、そのことより入札条件、契約条件が厳しくなっています。また進出した外国企業は政変、内戦、生産物の販路確保、為替差損等のカントリーリスクにも備える必要があります。従って石油開発会社は相手国へのプレゼンスを高めるため複数国籍の複数企業でコンソーシアムを組み、リスクをヘッジしたり分散を図ります。当然、探鉱開発の規模も大きくなり、投資額も膨大になってきます。

最近の石油探鉱開発事情に関連して避けては通れない問題として石油公団があります。直接的には自主開発原油の必要性ですが、ご承知のように現在、石油審議会で議論されています。今のところ「必要」という結論は変わらないようですが、その方法論について検討されているようです。日本国内陸域の石油探鉱は極めて成熟しており、探鉱地域は海洋、特に東シナ海を除きそろそろ限られてきています。しかし海外においてはまだまだ多くの地域が対象として残っています。中近東諸国やメキシコでも一部、利権開放の噂も聞こえており、国営石油会社の民営

化や鉱区の公開が期待されています。このような状況で、日本の石油開発企業はこれからは単独というのではなく、企業連合を作り更に海外プロジェクトのコンソーシアムの一員となって探鉱開発事業に参加する方式になっていくと思います。

(4) エネルギー事情

石油開発関係者には聖書といわれる「ザ・ブライズ」という本があります。その著者、ダニエル・ヤーギン氏は20世紀を「石油の世紀」と言っています。日本語訳の本の題名がそのまま「石油の世紀」になっていますが、その本で石油は生活、社会、経済、国家の基本、中心と述べています。BP統計によりますと1997年における世界の一次エネルギー消費の割合は石油40%、天然ガスが23%、石炭が27%、原子力が7%、水力3%で、石油と天然ガスが合わせて63%、石炭を含めた化石燃料が全体の90%を占めています。快適な生活環境を維持するには、まだ化石燃料に頼らざるを得ないのが実状です。石油、天然ガスの埋蔵量も十分ありますし、引き続いて21世紀初頭も「石油の世紀(時代)」を形作ることは間違いのないというのが大方の見方です。しかし現在、この石油を支配しているエクソン、モービル、BP、アモコなどのメジャーが相次いで合併しました。将来、石油開発の事業環境が厳しくなり、コスト削減が必要なことは定性的には理解できますが、将来、石油という主役の座をどのように考えているのでしょうか。

1997年、京都で開催されたCOP3(気候変動枠組条約京都3回会議)の議定書で地球温暖化問題より、2010年の炭酸ガス排出量を1990年の排出量の約6%(対象国により違う)削減が決められ、国内でもそれに対応して政府が様々な施策が講じています。COP3以降、マスコミ等で地

球温暖化が大きな問題として提起されています。大気圏内の炭酸ガスの増加が現在の地球温暖化をもたらしたという因果関係について一部の科学者は疑問を呈していますが、その関係はIPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)で結論づけられ事実として世界各国の共通認識になっています。原子力発電は炭酸ガス排出フリーという点では好ましいのですが、様々な問題があり先進ヨーロッパ諸国では原子力発電の廃絶を決定した国もあります。原子力発電が暗礁に乗りかかっている今、核融合技術が開発されるまで、石油が主役の座をこのまま維持していくのでしょうか。

最近、化石燃料の中でもクリーン性で天然ガスが注目されてきています。例えば天然ガスを燃焼した場合、炭酸ガスの排出量は石炭の60%、石油の75%です。この他に排出窒素酸化物は石炭、石油の20~30%、硫黄酸化物はゼロです。マイクロガスタービン熱電併供給システム、GTL(Gas to Liquid)、燃料電池などの技術の研究開発が活発に行われています。マイクロガスタービンや燃料電池を用いた分散型の熱電併供給システムが各家庭または地域毎に設置され、快適な家庭生活をおくれる日が近い将来実現するかも知れません。

特に燃料電池の技術が実用化された場合、石炭と水あるいは石油または天然ガスより分離した水素と空気からの酸素があれば地球に優しいエネルギーを作る事が可能になります。その時、石油や石油製品が依然として優位性を保てるかどうかは今後の技術革新とインフラ整備の経済性にかかってきます。今現在はパイプラインの敷設エリアでさえあれば、栓を捻るだけで直ぐ使える利便性、そして低公害性より天然ガスに追い風が吹いています。マイクロガスタービンの燃料、メタノールや低公害合成油の原料、そ

のメタノールや合成油からの水素分離、その水素を使った燃料電池での発電がシナリオとして考えられています。このように将来の天然ガス需要の拡大を見越して、現在サハリンからの長距離パイプラインの敷設計画が検討されています。

(5)おわりに

21世紀も当分の間は石油（天然ガス）の時代が続きます。探鉱対象地域も世界各地に残っています。これからも日本の企業は国内外で探鉱開発を継続していくと思いますが、国内に限っていえば石油開発産業の主役は石油より天然ガスになっています。ガス田の開発生産、ガスの長距離パイプライン輸送、ガス販売がコアビジネスになっています。そして前に述べましたように天然ガスが熱電併供給システムの燃料あるいは原料の候補として脚光を浴びてきています。このような事業環境より、国内の石油開発企業は天然ガスの生産販売を主体とする総合エ

ネルギー供給会社への変貌を図っています。従って石油開発企業とはいえ天然ガスの付加価値を高める利用技術に関して、その知見の蓄積が求められています。

「環境資源工学科」出身の皆さんには油ガス田の開発、石油や天然ガスの生産・輸送、環境問題、天然ガス利用新技術と幅広い仕事が期待されています。厳密に言えば中には「機械」や「応用化学」の分野も無いわけではありませんが、石油開発産業にとってその業務は専門家を雇用するほど多くないのが普通です。総じて「資源工学」系の技術屋が様々な分野を担うことになります。今後の国内外の探鉱開発には海洋油ガス田開発やLNGプロジェクト入ってくるかも知れません。更に石油や天然ガスの販売ばかりでなく電力販売のプロジェクトも立ち上がる可能性があります。このように日本の石油開発産業は大きな変革期を迎えています。しかもその変革を実際行うのは皆さん自身です。繰り返しになりますがやることは山ほどあります。

2000年の環境資源—クリーンエネルギー地熱 「大地の恵み」をいかに使うか！

地熱エンジニアリング㈱ 高杉真司 (資源49卒、修士51卒)

1. 二十一世紀は環境の世紀

「二十世紀のエネルギー源の主役は石油だったが、二十一世紀は、地熱が重要な位置を占める」と、国際地熱協会のフィリップ・マイケル・ライト会長は昨年の11月に米国ネバダ州リノ市で開かれた米国地熱資源会議 (<http://www.geothermal.org/>)の会場で、地熱エネルギーの可能性について、このように解説しました。

地熱は、地球誕生以来、地球の内部で生成され、蓄積された熱エネルギーです。その存在は、半永久的で、クリーンエネルギーを生み出す貴重な資源であります。この地熱について議論する世界地熱会議(通称:WGC2000, <http://www.wgc.or.jp/>)が、来たる5月末から6月初めにかけて大分県、岩手県を会場として開催されます。70カ国から1500人が参加する予定です。地球温暖化をもたらす元凶とされる二酸化炭素の削減は世界的な課題となっていますが、クリーンエネルギーの一つとして、地熱に、今熱い視線が注がれています。折しも二十一世紀のキーワードは「環境」です。これまで地熱という話題の中心は、発電でしたが、地熱を多目的に利用しようとの試みが世界のトレンドとなってきました。「大地の恵み」地熱をいかに使うか！まさに二十一世紀の新エネルギーとして大きな可能性を秘めています。

2. 地熱発電

地熱発電は、火山国に適し、日本の実績は世

界で五番目となっています。日本地熱調査会 (<http://www.eic.or.jp/>)1999年版「わが国の地熱発電の動向」によれば、世界の総設備容量は、約820万kW(世界の総発電設備容量の0.3%)、その内米国が約40%を占めトップで、フィリピン、イタリア、メキシコと続きます。

日本の地熱発電は、日本重化学工業㈱ (<http://www.jmc.co.jp/23ener.htm>)が岩手県松川で初めての商業規模の発電所を1966年にはじめて以来、これまでに、電気事業十二カ所(49.6万kW)、自家用五カ所(3.6万kW)のトータル53.3万kWの、設備が稼働中です。松川地区では、地下千五百メートル付近に約300℃の蒸気が大量にたまっています。この蒸気を地上に取り出し、蒸気でタービンを回すのが地熱発電の仕組み (<http://www.geothermal.co.jp/>)です。地球がボイラーの代わりなので、発電段階ではほとんど二酸化炭素など、地球温暖化の原因となるガスを排出しません(図1参照)。これが、「地熱発電は、環境への影響が極めて小さい、環境に優しい自然エネルギー」と言われる所以です。

この環境に優しい地熱発電を行うためには、まず探査と呼ばれる調査を実施します。探査段階では、地質調査結果、物理探査結果、地化学探査結果などを総合的に判断し、地下1000mから3000mの深部に250℃以上の高温熱水・蒸気が存在しそうな場所を推定します。次に、探査結果として抽出された有望地区に坑井を掘削します。複数の坑井で地熱蒸気を確認できると、蒸

気の噴気テストが行われます。この噴気テストの結果、探査結果などをもとに、コンピュータ上に地熱貯留層をモデル化・シミュレーションし、開発可能な地熱発電容量などの評価を行います。この評価の結果、経済性があると評価されると本格的な地熱発電設備の開発が始まります。

二十一世紀は、「環境の世紀」と呼ばれています。地熱発電は、二酸化炭素の発生量から見ても明らかなように、環境に優しい自然エネルギーです。我が国でも通産省が中心になり、2010年までに現状の約倍の出力である：120万kWまで地熱発電量を増やすために研究開発・補助が行われております。我々地熱に携わるものとして、この「大地の恵み」地熱の開発に今後も励みたい！と思うと同時に、今まで以上に、「環境の世紀」にふさわしいエネルギー源であることを多くの人に理解していただくようにも努力することが大切だと思っております。

3. 地熱ヒートポンプ

先に紹介した世界地熱会議（WGC2000）は、地熱発電の拡大への大切な通過点となるだけでなく、欧米では近年普及しだしたものの、日本では本格的な利用がされていない「地熱ヒートポンプ」が、今回の会議で目玉になるだろうと言われております。「地熱ヒートポンプ」の仕組み（<http://www.geothermal.co.jp/>）は、直径約十センチメートルの井戸（坑井）を掘削し、その中に埋め込んだパイプに、水・不凍液などを循環させ、地下50-200メートルの浅部の地熱（地中熱）を取り出したり、地中に熱を放出します（図2参照）。この熱を冷暖房、給湯、融雪などに生かす技術です。地中は、夏涼しく、冬も凍りにくいので、熱効率が良く、熱交換に要する電力量が、エアコンと比較して、20から30%

節減（省エネルギー効果）されます。このため、「地熱ヒートポンプ」を稼働させるために消費する電力量の約5倍の熱エネルギーを、得ることが出来ます。

省エネルギー効果のほか、地球温暖化の一因とされる二酸化炭素の削減効果も期待されます。国内の一般住宅全てが「地熱ヒートポンプ」によって給湯、冷暖房を賅ったとすると、二酸化炭素の年間排出量（1990年基準）の4.3%に当たる5200万トンの削減が可能と試算されています（NEDO、1999）。

岩手県の増田知事は、2000年の年頭記者会見の中で「地熱ヒートポンプ」の導入について、「本県でもできる範囲内でやってみたいと思っている。県施設で使ってみることも考えられる」と積極的に取り組む姿勢を表明しました。事実、実証調査費が十二年度の予算案に計上されています。

このように注目されつつある「地熱ヒートポンプ」ですが、米国では、エネルギー省（DOE）と環境庁（EPA）が1990年代前半より、代替エネルギー・エネルギー有効利用促進の一貫として、①「地熱ヒートポンプ」が、エネルギー効率向上の解決策になり得る技術であり、②電力会社には、ピークデマンドの減少、更に、③消費者には、電力料金の低減、④社会には、きれいな環境をもたらすものとして、国をあげて普及計画を強力に推進（EPA、1993）してきました。その結果、年間約7万台（1998年）の出荷があったとされています。ヨーロッパでは、暖房が主目的であること、米国以上に環境意識が高いことから、システム的には若干異なるものの米国と同様に、急速に普及が進みつつあります。また、ヨーロッパでは、夏の冷房負荷を地下に吸収させ、その熱を冬の暖房ソースとする地盤蓄熱の研究が、「地熱ヒートポンプ」技術の

幅をこれまで以上に広げる技術として、かなり広く行われています。

我が国では、平成十年度にNEDO（新エネルギー産業技術総合開発機構）が中心となり、「地熱ヒートポンプ」の開発・普及・導入を目指した調査（NEDO, 1999）を実施したほか、ロシア連邦カムチャッカ州でのテスト（高杉他, 2000）などを行っています。その他、先に紹介した地盤蓄熱に関しても、NEDOを中心に研究され、都心部の地域冷暖房システムとして研究されつつあります。

4. 「環境に優しい大地の恵み：地熱」 の先駆者

確かに、現状では、地熱を使った発電は、原油を燃やすことにより発電する方式等と比べて少し割高です。また、地熱の開発地域が国立公園と隣接していることなど、必ずしも地熱発電の推進にとって追い風とは言えないのが最近の状況です。しかしながら、将来的に原油は枯渇する方向であり、現にここ最近原油価格が上昇してきている事、環境意識の高まりなど、追い風となる要因も見えてきました。

地球温暖化や二酸化炭素排出規制に伴って、環境に優しい風力、バイオマス、温度差エネルギーなど自然エネルギー利用技術開発が急務となっています。自然エネルギーは、クリーンで枯渇のおそれがない等の利点はあるのですが、

エネルギー密度が低いという欠点があります。「地熱ヒートポンプ」では、地熱（地中熱）を利用するために、50から200メートルの井戸（坑井）を掘削し、パイプを挿入して熱交換器を作ります。このため、どうしても、初期コストが高くなってしまいます。特に、日本では、地質的に、欧米と比較して井戸（坑井）の掘削費が高くなる傾向になります。今後、掘削費の低減や熱交換器の性能向上などの研究が行われようとしていますが、その成果が期待されます。

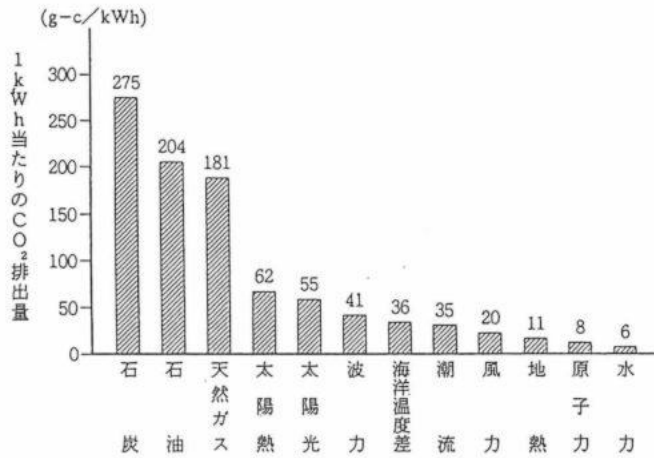
「環境の世紀」では、すべての人類が環境を意識せずに生きてゆくことはできなくなるはずで、我々は「環境に優しい大地の恵み：地熱」の先駆者の一人として、今後も胸を張って、仲間を増やしながらか生きてゆきたいと思えます。若い仲間も、参集して下さることを期待しながら筆を投げることにします。

参考資料

NEDO (1999)：都市型多目的地熱利用技術の開発、導入、促進に関する調査、pp133

EPA (1993)：Space Conditioning: The next frontier - The potential of advanced residential space heating technologies for reduction pollution and saving customers money, US Environmental Protection Agency, pp103

高杉、池内、宮崎(2000)：ロシア連邦カムチャッカ州における地熱ヒートポンプ試験、地熱エネルギー、vol.25, no.1, 59-73



注) 原料の採掘から建設・輸送・精製・運用(実際の発電)・保守等のために消費されるすべてのエネルギーを対象としてCO₂排出量を算定。
 (原子力については再処理・廃棄物処理・廃炉まで含む)
 (例) 石炭 [採掘 選炭] → [輸送] → [発電] → [灰捨]

図-1 各種電源のCO₂排出量

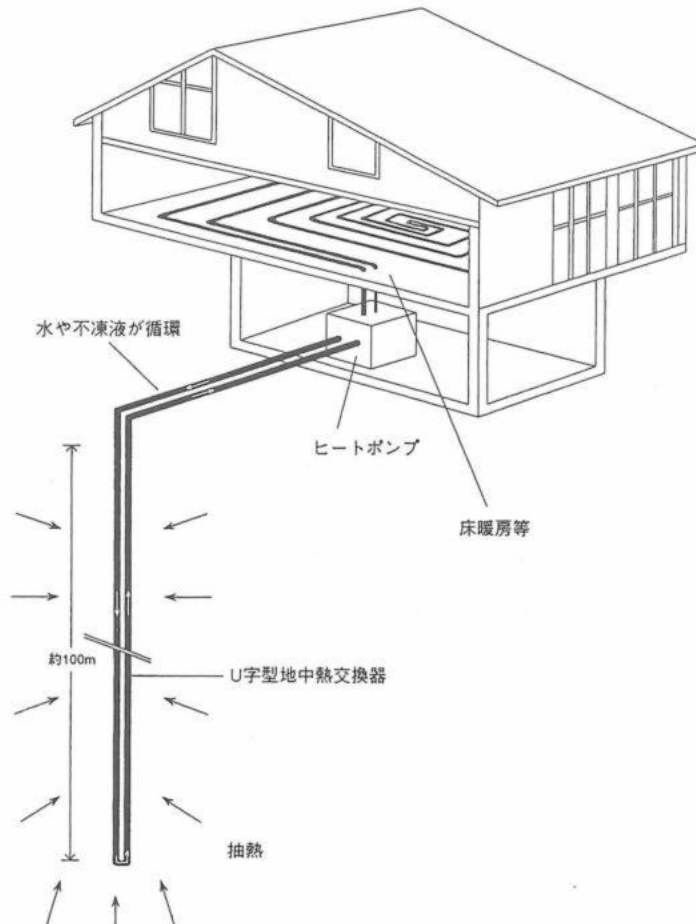


図-2 地熱ヒートポンプシステムの概念図

2000年の石灰産業と環境

吉澤石灰工業㈱ 松本 孝雄 (昭和51年卒業)

1. はじめに

我が国の石灰石は、セメント、鉄鋼化学等の工業や土木建築など、多くの分野で年間2億トン弱が使用されている。石炭や金属鉱業が衰退する中で、我が国で自給でき、しかも全国に分布している唯一の鉱物資源である。一方、ドロマイトは、全国の生産の9割を栃木県で産出し、鉄鋼用を主に、ガラス、農業用肥料などに年間4百万トンが使用されている。以下、ドロマイトも石灰産業に含めて記述することとする。

石灰産業は、我が国の産業基盤を構築し、更に持続可能な循環型地球環境構築のための新たな役割を担っている。ここに西暦2000年の石灰産業と、環境分野での石灰の取り組み例をいくつか紹介する。

2. 我が国の石灰産業

1) 生産と埋蔵量

我が国の石灰石鉱床は 広く北海道から沖縄まで全国的に分布し、鉱山として稼行している大規模な鉱床は、古生代石炭紀、二疊紀、中生代三疊紀、ジュラ紀300あまりであるが、石灰石の埋蔵鉱量は、確定可採粗鉱量で、96億トンと現在の年産2億トン弱のペースでは、概ね50年分しかない。各種法規制や、自然環境の保全の高まりにより採掘条件が厳しくなっていることから、我が国唯一の自給可能な資源であっても将来の資源確保が懸念されている。

一方ドロマイト鉱床は、栃木県葛生地方を主

に、岐阜県、高知県、大分県などに分布するが、そのほとんどは栃木県で産出している。稼行鉱山数は16で石灰石との併産で、埋蔵鉱量は確定可採粗鉱量で3億6千万トン、現在の年産400万トンのペースでは90年の採掘が可能である。

2) 用途

わが国の石灰石は、CaO含有量が高く、不純物の含有は少なく品質は非常に良い。用途は、セメント用が50%弱、鉄鋼用が10%、各種化学工業や土質改良用などの石灰、炭酸カルシウム(タンカル)が10%、そして残り30%はコンクリート、道路用骨材に使用されており、用途は多岐にわたっている。

我が国のドロマイトの用途は、生産量約400万トンのうち工業原料としては、鉄鋼用が22%、苦土カルが7%、ガラス用が5%、その他が10%である。更に土建用として骨材用が56%である。

念のためここで、石灰石、ドロマイト並びに一般的な石灰製品名称について簡単に紹介しておく。但し、かっこ内は主要成分。

- ・石灰石(CaCO₃): 鉱山から採掘され、破碎・選鉱・篩い分けされた製品
- ・(CaO): 石灰石を炉(キルン)でか焼したものの

$$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$$
- ・(Ca(OH)₂): 生石灰に水を加え、水和反応後熟成させ、分級したもの

$$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$$
- ・タンカル(CaCO₃): 石灰石をミルで微粉砕

したもの（重質タンカル）と、生石灰から化学的に合成したもの（軽質タンカル）とがある。

- ・ドロマイト ($\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$)：鉱山から採掘され、破碎・選鉱・篩い分けされた製品
- ・軽焼ドロマイト ($\text{CaO}+\text{MgO}$)：ドロマイトを炉（キルン）で焼成したもの
- ・苦土カル ($\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$)：ドロマイトをミルで微粉碎したもの

表1. 石灰石・ドロマイトの主な利用産業別用途²⁾

産業	用途
窯業	セメント、ガラス、陶磁器・タイル、耐火物工業
冶金	製鉄、浮遊選鉱
一般工業	ソーダ、カーバイド、海水マグネシア、精糖、紙・パルプ、石油化学
建築・土木	骨材、アスファルトフィラー、建築用石材、建築用壁材、軽量気泡コンクリート、珪酸カルシウム、建材土質安定剤、静的破碎工法
農業・畜産	肥料、農薬、飼料
食品・医療	食品、医療
公害防止等	上下水道処理、中和処理、排煙脱硫

3) 環境への対応³⁾

石灰石鉱山は露天掘りが主体であり、鉱山開発と自然環境をどう調和させ、共生させるかがこれからの資源開発の使命である。各鉱山では、環境保全の対策として、採掘してできた斜面（所謂残壁）の安定確保を図り、採掘跡地の緑化を行い、景観とのバランスを保っている。採掘跡地は、長期間放置することなく、採掘作業と平

行して緑化し、植生復元に努めている。緑化材料は在来種の植栽や播種を実施し、周囲の自然植生との調和を図っている。又、在来種の内、希少植物を増殖するバイオ技術を開発し、実用化を目指している鉱山もある。

3. 環境分野での石灰

1) 高反応性消石灰（ゴミ焼却場用）^{4),5)}

我が国の一般廃棄物のゴミ焼却場では、従来、工業特号（JIS特号）消石灰が焼却後の排ガス中のHCl、SO₂等の酸性ガス除去のため、使用されてきている。

1995年頃より、特に大都市圏におけるゴミ焼却灰の埋立処分場の確保が困難になり、反応生成物（飛灰）の容積低減を目的にJIS特号消石灰に代わり高反応性消石灰が登場した。既に首都圏では一般廃棄物のゴミ焼却施設の約1/3でこの高反応性消石灰が使用されている。高反応性消石灰の特性値を従来のJIS特号消石灰と比較して示す。

表2. 高反応性消石灰比較

		高反応性消石灰	JIS特号消石灰
化学成分 (wt%)	CaO	73.30	72.80
	L.O.I.	25.22	24.22
粒径 (μm)	d ₅₀	2.3	5.1
BET比表面積 (m ² /g)		32~40	12~15
見かけ比重		0.40	0.50
流動性指数		91	60

高反応性消石灰の特徴は、平均粒径 (d₅₀) がJIS特号消石灰と比べ1/2以下であり、BET比表面積は2倍~3倍と大きく、HCl、SO₂ガスと接触する機会が増加する。これが消石灰原単位を低減させる直接的な要因となる。これにより飛灰発生量の大幅な低減が可能となり、廃棄物量・処理コストの減少につながる。また、流

動性が良く、配管詰まりの改善、バグフィルター負荷の低減など作業面での効果もある。

更に、高反応性消石灰に、ダイオキシン類や水銀等の有害物質を吸着する活性炭類をプレミックスしたタイプが開発された。各地のゴミ焼却施設で大気中のダイオキシンの除去実績が認められ、現在使用量は増加しつつある。

当社では、高反応性消石灰を「カルミュー」、新しいダイオキシン等吸着タイプを「カルミューD」として首都圏のみならず、各地の石灰業者とライセンス契約を締結し、全国的な供給体制を採っている。更に今後の新しいガス化溶融炉システムにも対応可能である。

2) 非塩素系融氷雪剤⁶⁾

1993年雪道でのスパイクタイヤの全面禁止に伴い、スタッドレスタイヤが登場し今日に至るが、現在、雪道や凍結路面の対策に融氷雪剤が脚光を浴び、塩化カルシウムや塩化ナトリウム(岩塩)が年間30万トン使われている。しかし、これら塩化物はコンクリートや鉄鋼構造物、自動車等の腐食・浸食、街路樹・果樹園をはじめ地域環境への影響が懸念されている。

そこで、塩化カルシウムや塩化ナトリウム(岩塩)に代わる塩素を含まない非塩素系融氷雪剤が開発された。これは、酢酸とドロマイトが主原料であるアルカリ金属とアルカリ土類の複合化合物：酢酸カルシウム・マグネシウム・カリウム $[\text{Ca}_4\text{Mg}_3\text{K}_3(\text{CH}_3\text{COO})_{17}]$ で、金属の腐食、コンクリート構造物の浸食をおこさず、動植物への影響が少ない、環境に優しい融氷雪剤である。融氷効果は持続性が優れ、薬剤散布作業の軽減が図れることである。短所としては、塩化カルシウムや塩化ナトリウム(岩塩)と比べて、価格が数倍高いことと、薬剤散布後の即効性が若干劣ることと、供給能力が我が国全体の融氷雪剤需要を賄うには小さいことである。

当社では、この酢酸カルシウム・マグネシウム・カリウムを「メルトップ」として1995年より製造販売しており(特許出願中)、札幌市を中心に東北、北陸地方で使用されている。

今後、建設省は塩素系の即効性と非塩素系の持続性を合わせ持ち、塩害の影響が少なく夜間での効果が持続する(深夜作業をなくす)凍結防止剤を研究・開発する予定である。又、関係学会なども当面は塩化ナトリウム(岩塩)の使用は容認し、コンクリート構造物や鉄筋に対する対策を講じていくとしている。当社では、これらの需要に合わせた持続性、即効性、経済性、保存性が良く環境へ影響が少ない製品を開発して行く予定である。

3) 重金属固定化剤⁷⁾

従来、廃棄物や汚泥中に含まれる重金属などの有害物質の無害化処理法としては、セメント固化、アスファルト固化、溶融固化などと液体キレート剤による薬剤処理技術がある。

セメント固化処理は、セメント中のアルカリ成分が重金属類を安定な水酸化物として不溶化させ、セメントの固化に伴う物理的吸着・封じ込めによるが、シアンや6価クロムなどの固定は困難である。アスファルト固化処理は、主に放射性廃棄物などを対象に行われているが、コスト、取り扱いから一般的実施例は少ない。溶融固化処理は最も安全性が高いが、溶融時に低沸点の重金属類(Cd, Pb, Hg, Asなど)が揮散し、その後の濃縮された飛灰処理が問題となっている。液体キレート剤処理は酸性雨。生分解性等長期安定性が問題とされている。

一方近年、重金属類の固定化剤として超速硬セメント(カルシウムアルミナセメント、バリウムアルミナセメント等)が目ざされているが、これは重金属類等有害物質の固定化能に優れ、対象廃棄物の範囲が広く、処理物は自然環境下

において長期に渡って安定である。

そこで石灰業界で、カルシウムサルフォアルミネート水和物(CSAH)及びカルシウムアルミネート水和物(CAH)を利用した新しい有害重金属固定化剤が開発された。CSAH及びCAHを低温域で加熱処理して得られる熱分解物の特性を利用し、水和反応によって生成する水和化合物の結晶中に有害物質を置換・固溶させて固定・無害化する固定化剤である。廃棄物の成分・pH、有害物質の種類・含有量に合わせて、調整することで有効な溶出防止ができるとして、今後の利用が見込まれている。

4) 多自然型河川用石灰石

建設省河川局は、平成2年('90年)11月「多自然型川づくり」の推進に関する通達をし、単なる自然保護ではなく、積極的に自然を再生しつつ水辺作りを進めることを推進することとした。

平成7年('95年)、「今後の河川環境のあり方について」(河川審議会答申)では、「多自然型川づくり」の普及と生物の成育・生育環境への配慮、自然豊かな河川空間の保全と人と川のふれあいの場を確保、河川景観の形成などを施策として唱えている。又、河川の災害復旧事業において、原則としてコンクリート使用を禁止し、木や石など自然の素材を使用しても安全性には問題がない上、公共工事コストも削減できるとしている。一方、災害防止を優先した結果、環境に対する配慮が足りないとの批判が出ていた。

我が国では1985年頃、愛媛県五十崎(いがさき)町を流れる小田川にコンクリートブロック護岸工事に代わり、自然石による石積み方式が採用されたのが「多自然型川作り」の最初と言われている。当社は石灰石系の「葛生石」として、1986年水資源開発公団発注の利根大堰下流護床工事を手掛け、以来多摩川、利根川、荒川

等の主要河川及び関東各県の河川や沼、その他親水公園、ビオトープなどに採用され、景観の形成と水辺環境の改善に成果を上げてきている。石灰石の特徴は、酸性水に対して中和、浄化機能があり、苔、藻の付着が良く、水中生物や川魚等の生態にも良い影響を示すことと、生産面では、鉱山より整ったサイズが大量に採取可能な点である。今後も、更に施工性、コストを考慮しながら、我が国の伝統的河川工法のひとつとして採用されていくこととなろう。(写真は葛生石施工例 利根川水系秋山川)

5) セメント工場^{8),9)}

我が国のセメント工場では生産量：年間8,500万トンに対し、2,660万トン('97年度実績)の廃棄物を使用している。高炉スラグ、石炭灰、副産石膏をはじめ、下水汚泥、廃タイヤ、廃パチンコ台などから、最近ではゴミ焼却灰の使用やフロン分解なども実用段階に来ており、セメント産業の果たす役割は大きくなっている。

セメント製造キルンは原料が1450℃と高温になり、滞留時間が長いことから、有害な有機化合物は分解し、無機化合物も原料中に取り込み無害化することができる。

ゴミ焼却灰や下水汚泥等の有害物を含む塩素含有廃棄物より製造されるセメントが「エコセメント」である。その特徴は①焼却灰等廃棄物を50%程度原料として使用し、有害物を無害化する。②製造されたセメントは安全で、無筋コンクリートや地盤改良材として実用に適する。更に、脱塩素技術が進み、鉄筋の有無に係わらず普通セメントと同様な使用も可能になりつつある。

エコセメント化技術の確立により、一層広範囲な廃棄物の利用が可能となった。現在、前述のスラグ、焼却灰をはじめ50種類もの廃棄物が利用されているが、最終処分場の延命、資源の

有効利用から、セメント産業の環境に果たす役割は益々大きくなって行くものと期待されている。(図はセメント産業における廃棄物の活用、処理システム)

4. おわりに

今世紀、石灰は、火力発電所、石油化学等での排煙脱硫、酸性排水の中和処理など公害防止用に大量に使われてきた。そして現在、環境保全に各産業分野で使われている。

21世紀には我が国唯一の自給可能な石灰は、ここで紹介した使用例をはじめとして、更に各産業分野で地球環境の保全に役立つものと確信している。

〈引用・参考文献〉

- 1) 松本孝雄：わが国の石灰石鉱業、月刊『技術士』、平成8年11月号、p, 7～10
- 2) 松本孝雄：わが国の石灰石資源と埋蔵量、月刊『技術士』、平成11年5月号、p,13～15
- 3) 石灰石鉱業協会：地球環境保全に関する自主行動計画策定について、『石灰石』、1997年3月号、p,34～35
- 4) 吉澤石灰工業(株)：『吉澤石灰工業125年史』、1999年3月
- 5) 吉澤石灰工業(株)：『カルミュー』
- 6) 吉澤石灰工業(株)：『メルトップ』
- 7) 森 宏介：有害重金属固定化剤の開発、無機マテリアル学会『第99回学術講演会講演要旨集』、1999年11月、p,34～40
- 8) 野口紀和：セメント産業における廃棄物再資源化への取り組み、資源・素材学会関東支部、『資源リサイクルと廃棄物』、1998年11月、p,1～5
- 9) 宇智田俊一郎：エコセメントとセメント産業の廃棄物処理における取り組み、資源・素材学会『資源・素材'98 資源と環境』、1998年11月、p,118～121

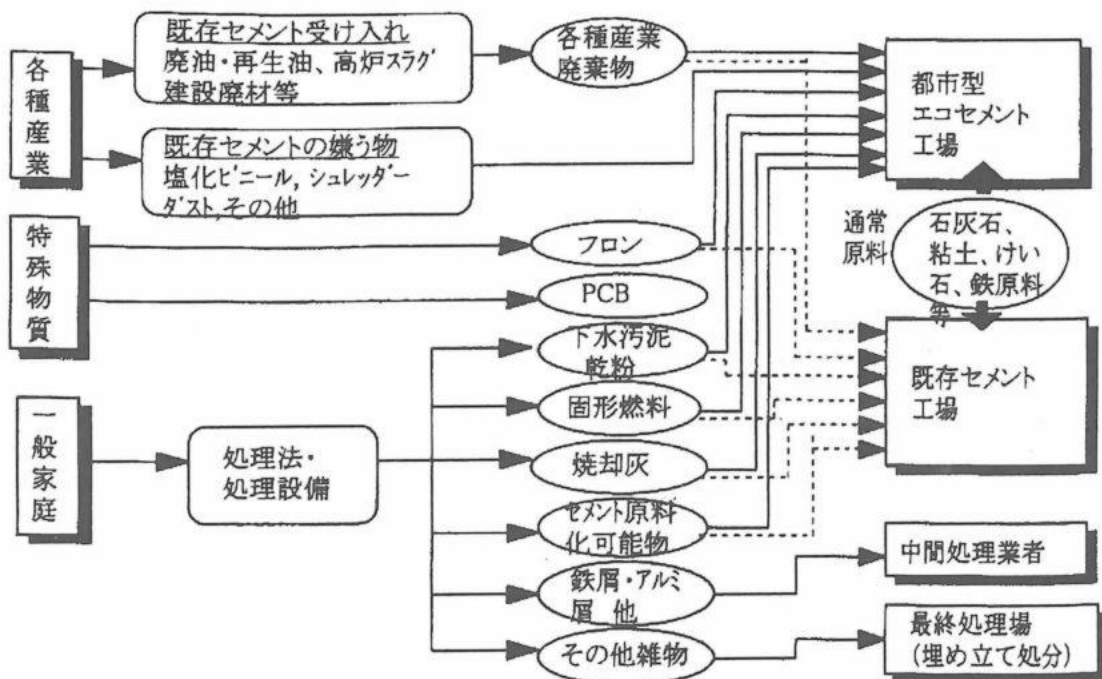
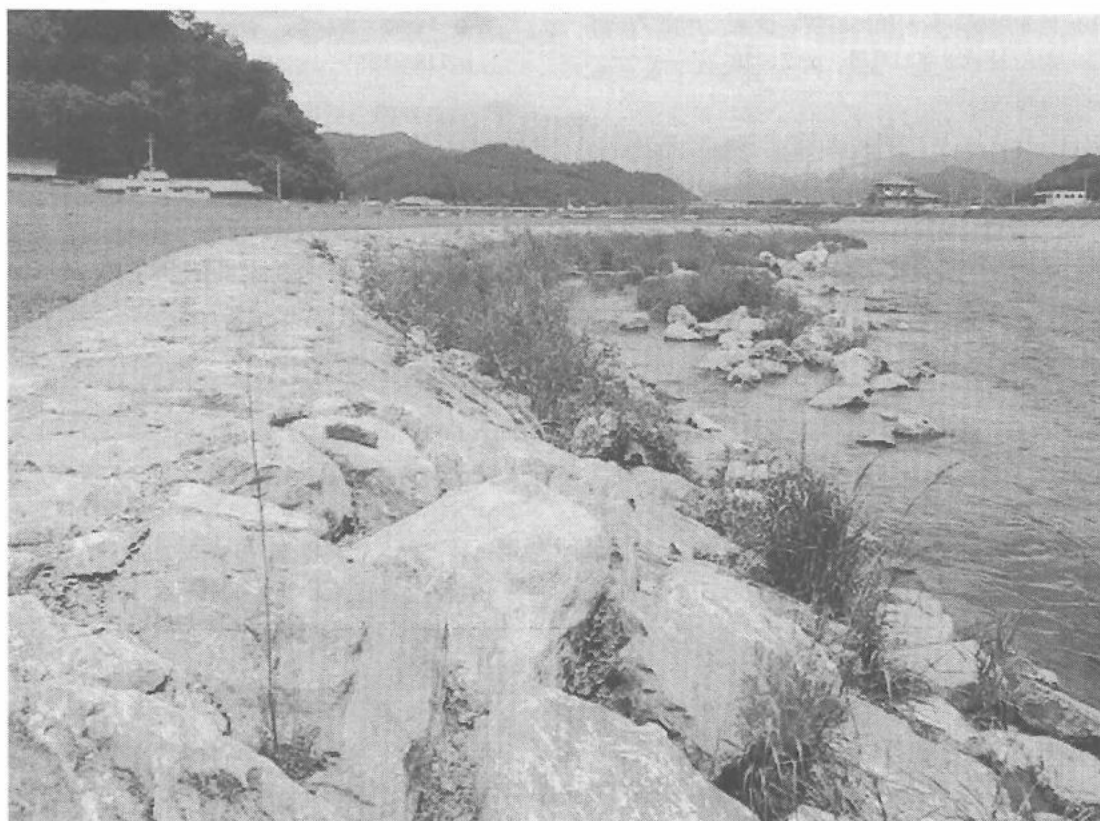


図 セメント産業における廃棄物の活用, 処理システム



2000年の環境資源—就職先としての環境資源系分野

工業技術院資源環境技術総合研究所 吉澤徳子

学部卒業と共に現在の職場に入所し、はや10年が経とうとしている。現在、通産省工業技術院の中の資源環境技術総合研究所で、炭素材料や石炭類のTEM（透過型電子顕微鏡）観察やXRD（X線回折法）測定による構造解析に取り組んでいる。大学では故大塚先生の御指導で粘土層間化合物の合成・解析を行っていたため、同じ層状構造とはいっても白から黒への転向である。進路を考えるに当っては、研究と言う仕事に漠然と憧れがあったため大学院への進学を当初考えていた。そこへたまたま現在の職場に縁があり、先生の「いつかは就職するのだから、（大学院へ行かなくても研究職として採用されるのは）悪い話ではないと思うんだけどね」という一言で入所を決心した。とはいえ、学生時代の研究と言っても卒論の1年間だけであるから研究経験などないに等しく、またエネルギー分野に関する知識にも乏しかったので、その点ではむしろ就職してから研究という仕事のおもしろさや資源、特にエネルギー関連分野の重要性を知ったと言える。寄稿のお話を頂いた際、私自身は環境・資源分野に就職したと言うよりは研究の世界に入ったと言う印象が強かったので、正直なところ少し戸惑ったが、就職先としてのこれらの分野、特に資源部門について私の知る範囲で書かせて頂こうと思う。なお、内容は主としてこれから就職を考える学生さんを対象にしたつもりだが、国家公務員の研究職の立場からやや主観的なことも書かせて頂いたので、既に社会で御活躍の皆様にも多少の御参考にな

れば幸いである。

先日大学の方から伺った話では、最近卒業生の1/3が環境・資源分野に就職していると聞く。学生の皆さんの中には、既に現場実習のような形でこれら関連分野の仕事の一部を体験しておられ、その経験を今後の研究テーマや進路に生かそうと考える方も多いと思う。一方、私の卒業した年に限らず、これから環境・資源分野以外の分野での活躍を目指す方も例年大勢おられる。御存じのように環境・資源分野は非常に多くの知識が組み合わせから成り立ち、いわゆるサイエンスからテクノロジー、場合によっては文科系に分類される知識を含む広範な領域である。環境資源工学科の卒業生はこれらの知識をある程度カバーした上で、さらに専門を持つ点の一つの強みであると思う。したがって就職先の選択肢が多く、非常に多岐に渡るのはある意味当然だろう。異論はあるかも知れないが、実際に広範な分野に渡って卒業生が活躍しているというのは、それだけ社会に求められているという実績でもあり、良いことだと思う。

このような状況の中で資源分野に就職した友人らをみると、国際的に活躍している者が少なくない。地下資源の大部分を海外に依存する我が国、という言葉がお題目のように唱えられて久しいが、これは皮肉でも何でもない、事実である。したがって海外との関わり合いが重要になり、実際に渡るケースも多くなるのだろう。さらに言えば、資源の有効利用は我が国だけの課題ではなく、またエネルギー源の確保の

問題だけに留まらない。良く知られている例としては、最近では産炭国でも経済的な事情から高品質の高価な石炭を輸出し、そうでないものを自国で利用する場合がある。しかしその利用技術開発力を産炭国が持たない場合は、場合によっては利用段階での大気汚染等の環境問題を引き起こすことがある。その他にもいろいろな問題が関連してくる問題は多々存在するわけだが、これからの資源分野は先進国・発展途上国を問わず海外を視野に入れた仕事が増えることは間違いない。また環境分野の国際性についてはいわずもがなであろう。いずれも非常に複雑な背景を含んだ問題であり、技術開発で単純に解決できない場合もある。それでも、マスコミの報道を鵜呑みにせず、すべての産業基盤を支える分野で自分なりの視点を持って事実と直面しながら働くという充実感は大きいと思う。

もっとも、資源分野へのかかわりは必ずしも天然資源そのものの研究とは限らない。私自身は最初に示したように国の研究機関で働いているわけであるが、もう少し詳しく紹介すると、現在は化石燃料の有効利用の一環として、エネルギー貯蔵材料としての多孔質炭素材料の開発に関わっている。リチウム2次電池は携帯電話やノートパソコン等の携帯情報端末の小型化、軽量化に一役買っているが、その電極材としての炭素材料開発は業界で最も競争の激しい分野である。また低公害車の普及にはメタン、あるいは水素を安全かつ十分量貯蔵できるタンクを設計する必要があるが、活性炭がこの分野で非常に注目されている。いずれの場合もより高性能の炭素材料を開発することがカギであり、成功すれば社会システムが大きく変わる技術である。私の環境・資源分野へのかかわりはこのような間接的なものではあるものの、実用を考え

ると各国の排ガス規制やエネルギー利用技術の実態を視野に入れる必要があり、非常に刺激の多い仕事だと思っている。

一方、私は国家公務員でもあるわけだが、行政職は大学で学んだ知識や経験をかなり生かせる場だと思う。関心のある方は御存じだと思うが、国家公務員の1種、2種の資源区分には「資源工学」がある。採用先は例年通産省や特許庁が中心となるようだ。通産省の場合は資源・エネルギー関係の国家プロジェクトに関わる仕事を担当する部署に配属されることが多く、研究ではないがまさに大学で学んだ知識や専門用語や飛び交う世界である。実は私自身も行政職として1年程霞ヶ関で働いたことがある。その際には石炭液化プロジェクトを中心とした事務に携わった。ちょうど鹿嶋の150t/dayという巨大パイロットプラントの運転開始時期にあったため、説明用資料の作成、外部機関への対応、現場への立ち会い（視察というのかも知れないが、私自身ポジション的にさほど偉くなかったので）などを行った。さらに石炭利用技術の発展を目的とした日米合同技術会議というものがあり、私のいた部署が会議の日本側窓口を担当していたので、日本側の情報の取りまとめの他、実際に上司とアメリカに渡って会議に参加する機会も得た。現在は多少状況が異なるが、当時はアメリカにおける石炭研究が予算的に苦しく、継続的に技術開発に取り組んでいるのは部門によっては日本だけ、という場合もあった。いずれも国家的な取り組みとしての石炭事業を知る上で非常に有益な経験であったと思う。もっとも仕事の中には、予算関係つまりはお金の流れを通して関連業界における利害関係等、生の姿を垣間見ることもあった。それでも外国との複雑な関係の中で積極的に国のあり方を考えることができるという点で、意欲さえあれば仕事に対

し理想を追求できる数少ない職場の一つだと思う。

人事院は既に2000年度の国家公務員採用試験の実施計画を発表しており、1種、2種については年齢制限などの変更があると聞いている。詳細は人事院のホームページ等で確認して欲しい。もし国家公務員になることに少しでも関心があるならば、冷やかして良いから一度受験されることをお勧めする。合格者の多い国立大学だと「過去問」とまでは行かなくともかなり情報が回っていたりするのだが、早稲田の方ではどうなのだろうか？先輩や先生が御存じかも知れないが・・・もっとも、実際のところは合格＝採用ではなく、希望省庁に出向いて面接のようなものを受ける必要がある。それでも関心のある向きはぜひチャレンジして欲しい。なお、研究職については、2001年4月から独立行政法人（正確には国の機関ではなくなる）として再スタートすることが既に決定されている。詳細はじき決定すると思われるが、現在ある環境・資源系の研究部はエネルギー利用や地圏・海洋資源及びその環境に関わる領域へと再編されるようである。

ところで、女性の就職に関してであるが、5年程前に早稲田理工で「女子学生のための就職ガイダンス」（済みません、正式な名称を忘れました）に呼ばれてパネラーの一人として参加したことがある。公務員の研究職に就いた女子が少なかったために御指名がかかったのだと思うが、受けた質問の多くは結婚や出産、育児、夫婦別姓に関することながら目立ったように記憶して

いる。当時私は自分と自分の職場の話を見せて頂いたが、この辺りの事項を就職時に重視する方は、なるべくその会社あるいは近い業界の女性の先輩に実際に話を聞くのが良いように思う。とはいえ、就職したからと言って先輩をそのまま見習う必要はなく、結局はその人なりの社会人生活を開拓していくことになるだろうけれど、むろんこの点については男性でも同じだろうと思う。

最後になるが、早稲田理工のみならず、現在、大学の中で環境あるいは資源に関わる勉強・研究を行っているところは少なくなく、これらの分野を総合的な立場から学んだ者を迎え、育成し、さらに専門家としてあるいはその方面の知識に明るいものとして待遇する社会の下地は十分に備わっている、あるいはそれが当然となる時代は必ずくると思う。環境・資源分野は社会基盤的な側面を持つ分、政策や景気などの時代の流れをまともにうける分野の一つであり、地味ながら長期的な視点による仕事もある。特に資源問題については、国際的に見れば決して既に終わった問題ではない。我が国の産業としては新しくない分、旧態依然とした考え方が横行している部分もあるが、それだけに一層多くの先端技術と渡り合いながら成長すべく努力しなければならない分野だと考えている。実際にこの業界に身を置き刺激に事欠かない日々を送っている者として、これから進路を考えている人には、一つの可能性として少しでも良いから頭に入れておいて欲しいと思う。

1999年度修士論文題目

- 佐々木研究室** 小 河 弥 生 界面特性を利用した超微粒ヘマタイトのサイズ分級に関する基礎的研究
- 桜 井 淳 微粒金属石鹼の希薄沈殿生成と迅速固液分離に関する基礎的研究
- 轟 涉 界面特性を利用した超微粒シリカ及びヘマタイトの相互分離に関する研究
- 高 田 巳 坑廃水処理におけるマグネタイト沈殿生成法の可能性
- 名古屋研究室** 三 谷 聡 濃度を用いた側方吸引型外付け式フードの性能評価法に関する研究
- 大和田研究室** 嘉 指 学 プラスチック類の相互分離を目的とした回転羽付き縦型循環流浮選機の開発
- 武 田 邦 義 異相境界面優先破壊を考慮した単体分離モデルの開発およびその評価
- 野 口 貴 也 廃パソコンシュレッダーダストN基礎物性調査および有価成分の物理選別性— 廃車および廃家電品シュレッダーダストとの比較 —
- 森田研究室** 土 井 智 紀 坑井安定室内実験装置の開発及び境界要素法を用いたモデル解析
- 在原研究室** 岡 野 裕 史 地下水汚染のシミュレーションに関する研究
- 鈴 木 森 ネットワークモデルによる炭酸塩岩の相対透過率予測
- 本阿弥幸子 多成分系モデルにおける相平衡計算の精度および計算効率
- フラットアグドゥイト 緩傾斜管二相流実験及びメカニスティックモデルの研究
- 毎熊研究室** 木 村 陽 介 崖地状地盤の振動特性の評価に関する研究
- 末 森 洋 紀 地中・地表比較観測による常時微動の本性に関する研究
- 山崎研究室** 大 橋 寛 之 ペロブスカイト型マンガン酸化物 $\text{Pr}_{1-x}\text{MnO}_3-y$ の合成と性質
- 長 井 拓 郎 Aサイト欠損ペロブスカイト型マンガン酸化物 $\text{Nd}_{1-x}\text{MnO}_3-y$ 焼結体の作成とその磁気抵抗効果
- 角 直 樹 酸化チタン薄膜への鉄族金属イオン注入とその効果
- 高橋千代子 鉱物と超臨界熱水溶液間における元素の分配に関する実験カンラン石、スピネル族鉱物、ザクロ石およびコーデイエライトを用いて
- 熊 澤 務 シリカーAP型シリケート層間への金属イオン導入
- 箕 浦 千 穂 金属イオン置換clinoptiloliteの結晶化学
- 内田研究室** 筒 井 建 超臨界条件下における玄武岩 (JB-1a) 一熱水間相互作用に関する実験



環境資源工学科の動き

1999年度

1. 日誌

- 4月1日 入学式（全学部）
4月2日 理工入学式 大学院入学式、環境資源入学者80名（女子9名）
4月12日 春季授業開始
4月23日 環境資源工学会
5月7日、8日 理工スポーツ大会
6月5日、6日 1年オリエンテーション
講師：原雄氏（廃棄物Recycle）
6月10日 早稲田大学大学院推薦入学面接（24名合格）
7月8日 授業終了、試験開始
9月6日 大学院試験（6名合格）
9月16日 秋季授業開始
9月25日 大学院修士論文中間発表会
10月14日 吉沢奨学金授与式（古井、汪）
10月29日—11月4日 理工展
12月18日 冬季休暇開始 研究室配属、実習発表
2月2日 卒論締め切り
2月4日 修士論文締め切り
2月8日、9日 卒論発表
2月10日、12日 修士論発表
2月16日 理工入学試験（今年の早稲田受験者の数は去年と同等）
2月27日 理工入学者発表
3月25日 卒業式

2. 就職・進路

- 学部卒業者：53
大学院進学者：35（早稲田：28、東大：5、東工大：2）
石油エネルギー関係：三菱石油、出光石油
地質コンサルタント関係：応用地質
化学・セラミックス：三菱マテリアル
機械・電気・材料：竹中工務店、東京電力、YKK
土木・建設・鉄道：JR四国
保険・金融・商社：日本銀行、東海銀行、岩谷産業
情報・ソフトウェア：三井情報開発、NCR、NTT
公務員：東京都
その他：学士入学、BMC
修士卒業者：27
大学院博士課程進学者：早稲田：2
石油エネルギー関係：石油公団、帝国石油
化学・セラミックス：電気化学、三菱マテリアル
機械・電気・材料：旭電化工業、電通、東京精密、YKK、日本原子力研究所
情報・ソフトウェア：NTTアドバンステクノロジー、日本IBM、NEC、日立ソフト、NTTデータ

公務員：文部科学技術省，通産省，関東通産産業局

その他：プライスウォーターハウスクーパース
コンサルタント、日本総合研究所、
タバコ産業

室

茂呂 瑞生 資源循環工学研究室

山崎 淳司 応用鉱物学研究室

職員 鈴木 和男 環境資源工学実験室

新井 佳江 環境資源工学連絡事務所

学職 中島 正人

学科主任および学年担当

学科主任 野口 康二

4年担任 森田 信男

3年担任 大和田秀二

2年担任 茂呂 瑞生

1年担任 毎熊 輝記

3. 学位取得者

遠藤 仁：時間領域電磁探査法の3次元解析に関する研究（住友金属鉱山株式会社入社）

十河 友：アポフィライトを出発物質にした機能性アルミノケイ酸塩素材に関する研究（通産省工業技術院融合領域研究所入社）

4. 選任教職員の構成

助手 十河友氏（応用鉱物学研究室）は退職し通産省工業技術院融合領域研究所入社、職員関口猛氏（環境資源工学実験室）は材料技術研究所に出向、鈴木和男氏が理工学部総合技術系教育支援課（1系）から環境資源工学実験室に職員として移籍する。したがって2000年度の教職員は以下のようになります。

教授 在原 典男 石油工学研究室

内田 悦生 資源地球化学研究室

大和田秀二 資源循環工学研究室

佐々木 弘 水環境工学研究室

名古屋俊士 環境安全工学研究室

野口 康二 物理探査工学研究室

毎熊 輝記 物理探査工学研究室

森田 信男 岩盤・石油生産工学研究

5. 環境資源実習受け入れ先・実習学生

石油企業

企 業	実 習 先	条 件	仕 事 内 容	実 習 学 生
日本ベトナム石油	ベトナム	9人	フィールド見学	大西、内田、松本、福岡、内山、大澤、大迫、大田知昌、村上
帝国石油	新潟鉱業所	3人	フィールド見学	木下、熊澤、木村（耕作）
石油資源開発	長岡または他の鉱業所	2人	生産管理実習	倉田
石油公団		2人		
茂原ガス		2人		

探査企業

企 業	実 習 先	条 件	仕 事 内 容	実 習 学 生
地熱技術開発	秋田、東京	2名	フィールド探査実習、室内実習	遠藤、曾我

環境企業

企 業	実 習 先	条 件	仕 事 内 容	実 習 学 生
環境管理センター	東京日野市周辺	4人（水2名、大気1名）千葉	環境フィールド実習	山地、関田、林、渡辺
三井造船環境プラント	千葉市原市	3人（寮にとまる）	環境フィールド実習	生木、西村、岡

Recycle企業

企 業	実 習 先	条 件	仕 事 内 容	実 習 学 生
日本鋼管	川崎	1名	環境プラント実習	木村（道泰）

石炭、金属企業

企 業	実 習 先	条 件	仕 事 内 容	実 習 学 生
太平洋炭坑	釧路鉱業所	1人	炭坑フィールド実習	前田
日鉱金属豊羽鉱山	札幌	1名	炭坑フィールド実習	
電気化学	新潟	1名	資源工場実習	

その他の企業

企 業	実 習 先	条 件	仕 事 内 容	実 習 学 生
鉄道総研	東京	2人	研究実習	
エヌ・イーケムキャット	静岡	1名	工場実習(化学)	三枝
信越化学	磯辺工場	2名	半導体、シリコン	南野、垣上
吉澤石灰工業	三峰破砕場	栃木県？	1名	セメント

編集後記

今年は2000年という節目にあたり2000年の環境資源工学とする題でOB、OG諸君に原稿を依頼しました。協力して下さった5名のかたに厚くお礼を申し上げます。最近環境資源工学科を卒業しながら専門分野に就職する学生が少なくなっておりますので、4年生にこの分野で活躍している人の意見を聞かせることができたのは幸いでした。この会報も1200部ほど配布されますから1つの小さな学会誌のようなもので卒業生の情報交換の場としてお役に立てば幸いです。編集幹事は就職担当も兼担しております。なにか良い職業がありましたらどしどし環境資源工学科の学生をリクルートしてください。

編集幹事 森田信男



環境資源工学会

〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1

早稲田大学理工学部環境資源工学科内 電話：03-5286-3007

振替番号：00110-9-143534 (非売品)