

## 地球化学的炭素循環速度増大による複合的二氧化碳素問題対策技術の提案と評価

Proposal and evaluation of multifunctional measures against carbon dioxide problem by increasing geochemical circulation rate of carbon

代表研究者 成蹊大学工学部工業化学科教授 小島紀徳  
Professor, Seikei University  
Toshinori KOJIMA

共同研究者 大阪大学基礎工学部化学工学科教授 上山惟一  
Professor, Osaka University  
Korekazu UEYAMA

工業技術院資源環境技術総合研究所室長 稲葉 敦  
Lab. Chief, National Inst. Resources and Environment  
Atsushi INABA

In the present study, first the feasibility and the evaluation strategy of the various measures for CO<sub>2</sub> problem were discussed from the view points of energy and environment. It was elucidated that the possible measures except the development of the new energy sources and their secondary systems are the storage of the recovered CO<sub>2</sub> and the following acceleration of CO<sub>2</sub> absorption into nature environment, i.e. into plants and ocean including weathering of rocks. Thus the overall objectives of the present study are to evaluate the possibilities of these measures and to propose hybrid measures. This year, the following items were conducted in addition to the above mentioned item of the evaluation strategy.

1. Experiments on the rate of CO<sub>2</sub> absorption by rock slurry such as CaSiO<sub>3</sub> were conducted.
2. A model for absorption of carbon dioxide into ocean was developed and improved. The fertilization method was evaluated and its way was optimized by the model.
3. Experiments on water and salt behavior with and without water absorbent polymers were conducted.

### 研究目的

本研究の第一の目的は二酸化炭素問題対策として提案されているいくつかの技術の評価法を確立することである。新エネルギー源あるいはその二次エネルギーシステムの開発という範疇に入らない、真の二酸化炭素問題対策技術の内、二酸化炭素の回収、貯留を除くと、自然界での二酸化炭素吸収の促進が今後評価すべき技術であることを明らかにする。ついでその典型的な例として、海洋および植物圏への吸収、岩石の風化を取り上げ、その評価のための基礎的な研究を行う。すなわち

第二の目的は海洋の吸収機構、生物の寄与を組み込んだ計算機モデルを開発し、海洋への二酸化炭素吸収量増大技術の妥当性をエネルギーおよび環境面から検討することである。特に、日本ではあまり検討が行われていない、海洋施肥法の効果、影響を評価し、最適化し、他の海洋を用いた二酸化炭素貯留技術との比較を行うことである。一方、森林破壊を防止し、さらに従来の森林破壊速度と同じ速度で植林を進めれば二酸化炭素問題は解決する。植林対象地の問題点の多くは人為的な原因による塩害発生であり、これらの地域における太

陽エネルギーの利用を想定した水の供給、塩害による砂漠化の防止と緑化、植林に関する工学的研究が第三の目的である。珪酸塩岩石の風化反応は自然界で生じる唯一の二酸化炭素の化学的吸収反応である。第四の目的はこれによる二酸化炭素の吸収の可能性の検討である。二酸化炭素問題対策としての海洋、植林、岩石風化の工学的利用の重要性の比較、評価、複合化の提案が最終的目である。

## 研究経過

平成6年度中には上述の目的に添って研究成果を上げるべく、実験的、理論的に研究を推進するとともに、本課題の特殊性、すなわち、第一の目的をも鑑み、工学系ばかりではなく、他分野特に理学系・人文系の研究者とも交流を深めるよう努力してきた。この点についてはすでに、平成7年7月25日開催の、財団主催の講演会にて報告したため、本稿では詳細は記載しない。

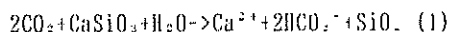
以下では、主として、実験的、理論的研究の成果を主として取り上げる。本研究は、二酸化炭素問題を多面的にとらえることを目的としているため、通常のピークの研究と異なり、研究方法としては異質ないくつかの個別な研究が並行して進められたため、個々のテーマの位置づけ、実験・研究方法を一括して記載することは避け、次項の研究成果の項に成果と併せて個別に記載した。

## 研究成果

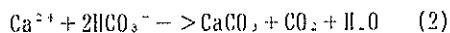
### 1. 二酸化炭素問題対策としての珪酸塩岩石利用技術の可能性

(1) 化学的固定における位置づけ 有機・生物化学的再資源化法(図1a)では、二酸化炭素を二酸化炭素以外の有用な有機物質に転換することであり、そのためのエネルギー源を自然エネルギーに頼るとするならば、このシステム(図1b)は自然エネルギー利用における二次エネルギーあるいは輸送システムの構築(図1c)に他ならない。特に有用化学物質の原料を化石燃料から化石燃料を起源とする二酸化炭素に転換する積極的意味は

無い。一方自然界においては



なる風化反応が存在し、豊富な珪酸塩岩石は、



なる二酸化炭素放出反応(珊瑚形成反応)が併発しても、正の吸収が期待できる。さらには深海に押し込むなどの方法により後者を抑制するならば前者の効果は倍増するし、また後者の逆反応、すなわち石灰石の風化反応もひとつの対策技術となり得る。すなわち、これらの無機化学的固定法は、現状では唯一可能性のある化学的固定法であると考えられることがわかった。

(2) 岩石風化速度の測定 しかしながら、岩石の風化速度は、通常のCO<sub>2</sub>濃度の下では非常に遅く、風化速度を測定し、その結果を用いた評価が必須である。室温、常圧のCO<sub>2</sub>の吸収速度を、岩石中の金属の溶出速度から評価した。測定結果から窒素中での溶解速度は無視できた。図2に様々な珪酸塩岩石からのイオンの溶出速度を測定した例を示す。珪灰石からのCaの溶出速度は速く、さらにここには示さないが、石灰石については珪灰石に比してもさらに速い風化速度が得られた。また、粒子径を変えて行った実験結果から、珪灰石の場合、溶出速度は表面積にほぼ比例した。得られた速度と粉砕エネルギーから、可能性を評価する必要がある。なお(1)式は地中処理における岩盤層の安定性の面からの重要な反応でもある。

### 2. 二酸化炭素問題対策としての海洋施肥法の可能性

(1) 生物的固定の位置づけ 生物的再資源化法でも化学的固定と全く同様な議論が成立する。生物的固定の後、これを用いて発電するならクローズドシステムとなるが、結局前述の、太陽エネルギー利用システムとしての評価が必要となる。すなわち、エネルギー転換効率、コストの点で、例えば太陽電池と比較すべきである。

この点に加え、P、Nのリサイクルが必須となるという問題点がある。微生物中のP:N:Cの元素比が一定なら、このシステム(図3a)より、一方で化石燃料を使用しながら、他方で海洋施肥

により二酸化炭素を吸収するとの組合せ（図3b）の方が、同じ肥料量で多くのエネルギーが得られよう。

(2) 海洋施肥法における肥料散布法の最適化

化石燃料からのCO<sub>2</sub>発生量に相当する肥料を蒔いた場合、均一に蒔けば貧栄養状態の海洋表層の有機物濃度は約2倍となることは、既に見だし、これについては報告した(7)。さらに海洋の吸収機

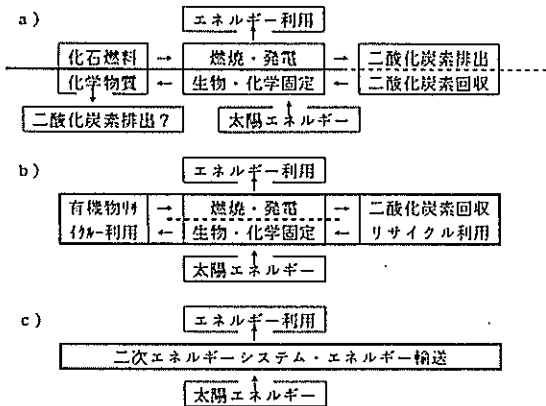


図1 化学・生物的固定(a)の本質(b)と二次エネルギーシステム(c)

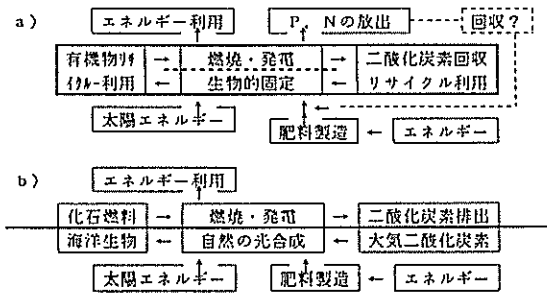


図3 肥料を考慮した微生物利用エネルギーシステム(a)と施肥法(b)の違い

3. 二酸化炭素問題対策としての砂漠等の未利用地の緑化の可能性

(1) 人類が使用出来ない自然エネルギーによる生物的炭素固定 上述の施肥法、あるいは植林、砂漠緑化等の生物的固定法は、人類が商業的に利用できない太陽エネルギーを使用しており、当然エネルギーの変換・輸送は不要であり、また作られた有機物は生態系などの自然の中に勝手にしまいこまれる点で、はじめに記した化学的固定あるいは生物的固定とは一線を画す必要がある。森林

構、生物の取り込み速度を組み込んだ計算機モデルにより散布した肥料の挙動を計算したところ、図4に示すように広範な散布が肥料の有効利用率を上げるには必要であることがわかった。一方散布、輸送に要するエネルギーは非常に小さいことが明らかとなった。しかし施肥法には燐の資源量、深海での酸素供給の不足とN<sub>2</sub>O発生の問題が残されている。

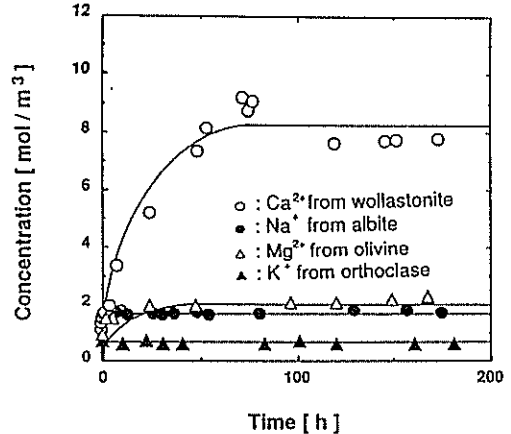


図2 岩石の溶解速度の測定例

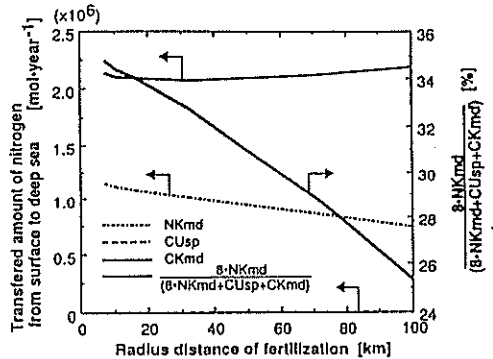


図4 肥料の非利用率(右軸)に与える散布範囲の影響

生態系では、海洋生態に比して生体の保持する炭素量が大きく、かつ少ない肥料で多くの炭素を保持できるという長所がある。これらの点から、二酸化炭素問題に対する寄与は明かではあるものの、目的にも記したように水の供給が問題である。塩害地域では十分な量の塩水は得られることが多いが、淡水化には膨大なエネルギーを要し、二酸化炭素問題との観点からはむしろ負の対策ということにもなりかねず、水の使用量は極限まで減少させる必要がある。

(2) 土壤中における塩・水の挙動 本研究では、このような観点から、塩類化土壤での水と塩の挙動を明らかにするために、一次元の円筒型装置を用い、模擬土壤（ガラスビーズ）に吸水性ポリマー（SAP）を混合する場合と混合しない場合について水と塩の分布を測定した。条件として、純水、塩水（塩濃度:0.5%）の場合、また塩水の場合には予め純水で飽和させた場合について測定した。また、蒸発速度を促進させた場合として、赤外線ランプを照射させた場合についても検討した。併せて上記の層中の塩水と純水の透過速度についても、SAPが有る場合とない場合について測定した。

SAPを含む層の場合には含まない層の場合と比して水分含有量は多かった。これはガラスビーズ中の空隙にあるSAPが膨潤し、空隙を押し広げたためと考えた。SAPを含む層の場合、SAPの膨潤により水の透過が妨げられ、透過速度が低下した。これらのSAPの影響は、純水の場合ばかりではなく塩水の場合にも認められたが、その影響は純水の場合に比して小さかった。赤外線ランプにより蒸発を促進した場合には、表層における塩の蓄積が見られたが、この現象はSAPを混合することにより抑制されることが明かとなった。以上、SAPの混合により、層中の水と塩の移動が抑制され、その結果、蒸発が抑制され、塩分の蓄積が抑えられたものと考えられる。これらの詳細は論文(2)を参照されたい。なお、これらの成果をも踏まえ、塩類化土壤から、蒸発により塩を能動的に集積し、除去すると共に、蒸発水を凝縮するという複合的プロセスの可能性の検討を開始している。

(3) 二酸化炭素問題からみた砂漠におけるエネルギー供給の課題 砂漠化の一因として若い樹木の薪としての利用が上げられている。これに代わる代替エネルギーの可能性をエネルギー源の違いによる生活用エネルギー利用効率から、太陽エネルギーの利用と、石炭・バイオマスのガスの両者の可能性の検討を行った。また砂漠におけるエネルギー生産の可能性を、そのエネルギー輸送の

観点から議論した。これらの詳細は論文(8)を参照されたい。

#### 今後の課題と発展

上述のように二酸化炭素問題を多面的にとらえ、実験的、理論的研究からその対策を比較調査してきた。しかしながら、それぞれにはいまだ検討すべき要素が多く残されていると共に、最後に記載した例をはじめ、システムとして評価すべき点も多い。今後も多くの可能性、特に複合的視点から対策技術を提案し、他研究者からの提案と共に、検討、評価を続けてゆく予定である。

#### 発表論文リスト (1994以降)

- 1) 加藤和彦, 小島紀徳他: 太陽光発電システムの経済性評価, 化学工学論文集, 20, 261-267, 1994.
- 2) 田原聖隆, 小島紀徳他: 水分, 塩分挙動に及ぼす保水剤添の影響, 沙漠研究, 4, 15-19, 1994.
- 3) T.Kojima: Evaluation Strategies for Chemical & Biological Fixation/Utilization Processes of Carbon Dioxide, Energy Conv. & Mgmt., 36 (6-9) 881-884, 1995.
- 4) S.Matsuda, T.Kojima, et al.: Technological Problems in Systems Approach of Greening, *ibid*, 36 (6-9) 927-930, 1995.
- 5) K.Tahara, T.Kojima, A.Inaba et al.: Ocean Thermal Energy Conversion System as a Countermeasure for CO2 Problem -Energy Balance and CO2 Reduction Potential- *ibid*, 36 (6-9) 857-860, 1995.
- 6) T.Kojima et al.: Significance of Afforestation of Desert and Its Evaluation as a Countermeasure against CO2 Problem, *ibid*, 36 (6-9) 923-926, 1995.
- 7) K.Horiuchi, T.Kojima, A.Inaba: Evaluation of Fertilization of Nutrients to the Ocean as a Measure for CO2 Problem, Energy Convers. & Mgmt., 36 (6-9) 915-918, 1995.
- 8) 小島紀徳: 砂漠におけるエネルギーの確保と環境問題への寄与, Macro Review, 8(1)42-48 1995.
- 9) K.Horiuchi, T.Kojima et al.: Effect of SAP on Water movement in soil, J. Arid Land Studies, 4 (2) 207-213, 1995.
- 10) T.Kojima et al.: Afforestation of Arid Land for Carbon Fixation, *ibid.*, 4 (2) 153-160, 1995.
- 11) I.Endo, T.Kojima et al.: Problems in Desertification, *ibid.*, 4(2)147-151 1995.