

Ⅲ 研究活動の概要

1. 平成3年度環境科学研究科プロジェクト報告

地域イメージの構造分析

石見利勝^{○*} 岩崎駿介^{*} 吉川博也^{*}

Analysis on People's Image of a Region

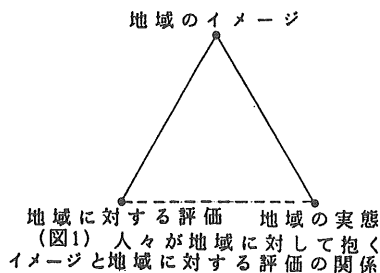
The objective of this study is to identify the relation of people's recognition of regional components with people's image of the region. The following analyses are carried in Sumita-ku. They are an analysis of people's recognition of regional components, analysis of symbolic components, analysis of people's image, analysis of symbolic image and analysis of relation of people's recognition of regional components with people's image of the region.

1. 研究の目的

本研究の目的は、人々が地域に対して抱くイメージと、人々が認知する地域の構成素材(物理的、社会経済的、文化歴史的等の素材や特性)との関連を探ることである。ある地域が、人々に対してどのようなイメージを打ち出していくべきか、そのためには地域の保有している素材、特性のどの部分を大切に地域整備を進めるべきか、を検討する際に本研究の成果が貢献できることを期待している。東京23区の中で、イメージが必ずしも良くなく、現在イメージアップの施策を熱心に展開している墨田区を対象に研究を進めた。

2. 研究の枠組み

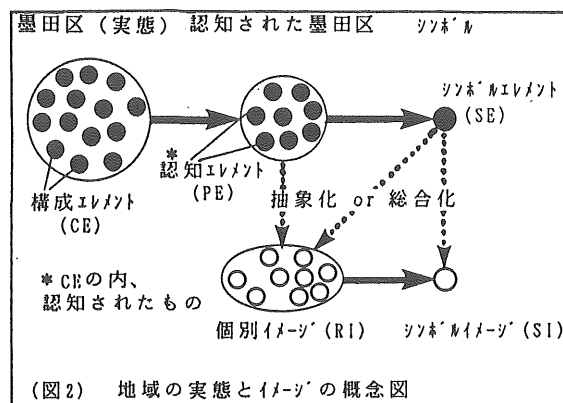
本研究では、イメージについて沢田の¹⁾「過去の或る知覚的経験をデータとして、自分が作りあげた対象のパターン」という定義を採用する。そして人々がある地域を評価する場合の図式は、オグデンの図式²⁾を借りて(図1)のように考えている。人々は地域を直接評価するのではなく(地域



*社会工学系

[○]研究代表

の実態と人々の評価は実線で結ばれていない), その地域に対する自分なりのイメージを抱いていて, それにもとづいて評価を下す, という図式であり, それ故にイメージというものが重要となってくる, という考え方である。ここで, 本研究では人々の地域に対する知覚的経験とイメージの関係を(図2)のように考える。即ち地域は, 物的, 社会経済的, 歴史的等々の種々の要素(素材)で構成されている(これを構成エレメント(CE)と定義する)。人々はこのCE全てを認知するのではなく, この1部を認知し(認知エレメント(PE)), それ等PEの中から, その地域を考える時まず一番に思い浮かべる代表的なエレメント(シンボルエレメント(SE))をもっている。それ等を抽象化し, 総合化して, その地域に対するいくつかのイメージ(個別イメージ(RI))を形成し, またその地域とはこういうものだという自分なりの象徴的な認識像(シンボルイメージ(SI))をもつ, という図式である。これ等一連のプロセスには個人の属性(嗜好, 居住地, 職業, 行動範囲等々)が影響すると考えており, 認知, イメージ形成と個人属性の関連の詳細な分析も興味深い, が, 本稿では, まずこのプロセス(本研究の作業仮説)の実態, 関連形態を探ることから始める。従って作業課題は①構成エレメントの認知, ②構成エレメントの認知とシンボルエレメントの関連, ③個別イメージ, ④個別イメージとシンボルイメージとの関連, ⑤イメージと地域に対する評価の関連, ⑥構成エレメントの認知, シンボルエレメントとイメージの関連, の分析である。⑤から, どういうイメージを打ち出すことが重要かを探り①~⑥までのプロセスを逆にたどることによって, 地域の有する特徴, どの構成エレメントを大切に地域を整備していくべきかを探ることができる, という考え方である。

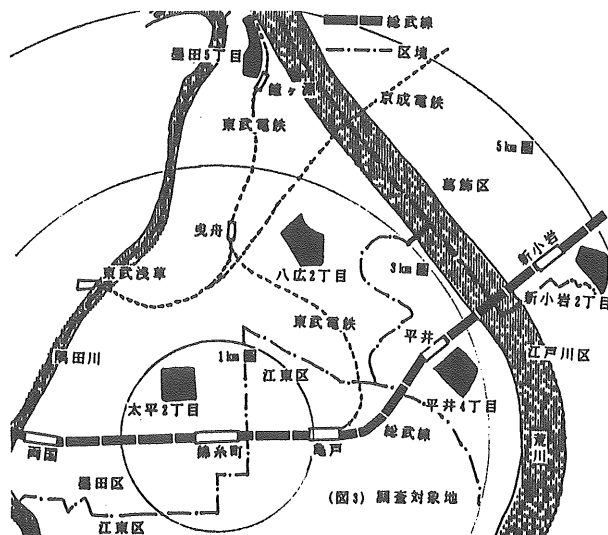


3. 調査

調査の概要を(表1)に示す。墨田区におけるインタビュー, 資料調査に基づき構成エレメント80件を抽出したが, 回答のし易さを考え, 商店会, 区役所等へのインタビューを重ねて最終的には27件に絞った。個別イメージは, 都市や地域の記述, 描写, 評価等の場合にどのような表現をするかのイメージを共同研究者8名に各人30~50挙げてもらい, KJ法によって, それをまず100の形容詞

対に整理し、さらに16の形容詞対に絞った。対象地は、錦糸町駅からの距離、方位を考慮しつつ住宅地5地区を選んだ。(図3)

(表1) 調査の概要	
1. 手順	
現地調査(現地踏査、インタビュー、資料収集、整理)	
↓	構成エレメント(CE)抽出 平成2年8月
KJ法	個別イメージ項目(RI)整理 平成2年9月
↓	
アンケート調査	
訪問配布、訪問回収	平成2年10月25日～11月13日
2. 調査対象地域	
墨田区(太平2丁目(37) 八広2丁目(49) 墨田5丁目(57))	
葛飾区(新小岩2丁目(45)) 江戸川区(平井4丁目(59))	
3. サンプルング	
対象地域から住宅地図をもとに100軒/1地域を無作為抽出して訪問。調査を了承してくれた住宅に配布。配布総数268票	
2.の地域名の後の数字は地区別回収数	
4. 回収数	
247票(有効回収率92.2%)。但し500軒訪問したからそれを母数とすると、回収率49.4%	



4. 結果

- (1) 墨田区の27件の構成エレメントは、人々の認知の仕方から大まかに5つのグループに分けられた。
- (2) 墨田区のシンボルエレメントは、花火大会、国技館が著しく多くの人に支持されており、向島百花園、桜橋、大相撲が続いている。シンボルエレメントに選ばれたものは、墨田区のイメージアップへの貢献度が高いと評価されており、その評価が、区内よりも区外で高く評価されているものが多い。

- (3) 墨田区のシンボルエレメントに選ばれたものは、隅田川に関連するものが多く、墨田区と隅田川の間には非常に深い。
- (4) 或るシンボルエレメントを挙げるグループ毎に構成エレメントの認知に偏りがあることが確認された。その背景を詳細に吟味して、その理由を明らかにする必要がある。今後の課題としたい。
- (5) 16の形容詞対によって墨田区の個別イメージを探った結果、墨田区は、家庭的な、親しみのある、大人の、やぼったい、といったイメージをもたれている。
- (6) 墨田区の魅力度評価と個別イメージの関連を分析した結果、明るい、心が安らぐ、というイメージが魅力的である、という評価に強く関連している事がわかった。今後このようなイメージを強化していくことが重要である。この明るいイメージと関連するシンボルイメージは川のあるまちということである。
- (7) シンボルイメージと墨田区の魅力の関連についても、川のあるまち、をシンボルに挙げるグループが著しく墨田区を魅力的と考えており、一方家内工業をイメージするグループは逆の方向にある。(6)、(7)より隅田川を美しく整備し、隅田川を墨田区のシンボルとして打ち出すことが墨田区のイメージアップに重要であり、区が現在打ち出している「川の手墨田」のキャッチフレーズは、適切な戦略と評価される。
- (8) 構成エレメントの認知と個別イメージの関連はあまり際立ったものはないが、ニット産業、3M運動、向島料亭街の認知グループが全体とは異なったイメージを抱いている。これは墨田区への関心の違いを反映しているようである。
- (9) シンボルエレメントと個別イメージの間にはいくつかの関連が見られた。(6)で述べた明るいイメージには、隅田川、百花園が関連が強く、心が安らぐイメージには、桜、花火、が関連が強い。

〔注〕

(1) 沢田允茂(1977)「認識とイメージ」数理科学3サイエンス社

(2) C.K.OGDEN 他(1969)「THE MEANING OF MEANING」第10版 REDWOOD PRESS

〔参考文献〕

1) 八木監修(1971)「講座心理学」(第1巻)《歴史と動向》東京大学出版会

2) 鮑戸弘(1970)「イメージの心理学」潮書房

3) K.E.Boulding(大川信明 訳)(1962)「ザ・イメージ—生活の知恵、社会の知恵—」誠信書房

4) K.Lynch(丹下健三 他訳)(1968)「都市のイメージ」岩波書店

5) 志水英樹(1979)「街のイメージ構造」技報堂出版

6) 加藤義明(1989)「都市のイメージの分析」東京都立大学都市研究センター

筑波研究学園都市における大気中のNO₂濃度について

(代表)下 條 信 弘
小林 守
新 井 淑 弘

筑波研究学園都市の建設当初は筑波大学をはじめとして政府の研究機関が集合した地域であり、その周辺地域は従来の農業を主とした産業構造であった。しかし、最近ではデパートやスーパー等の大型店や工業団地の建設など多くの企業の進出が目立ってきている。このような人間の生産活動の変貌は人口の増加をきたし、ひいては交通量の増加を招いている。したがって、エネルギー消費量が増え、大気環境中のNO₂濃度の上昇がみられるものと考えられる。

今回は、1985年の調査地点と同じ交差点(図1)で、大気中NO₂濃度を測定し、さらに筑波大学医学専門学群の学生のNO₂個人暴露量をも、NO₂個人サンプラーで測定した。これらの測定結果は将来にわたる筑波研究学園都市の大気中NO₂濃度をアセスメントする際の基礎資料としても有用と考えられる。

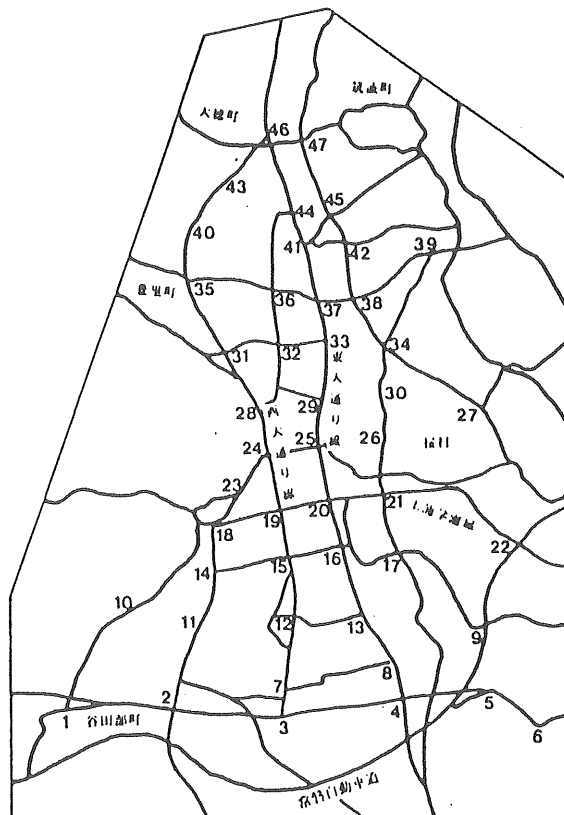


図1 筑波研究学園都市の交差点におけるNO₂測定地点

測定方法

大気中 NO₂ 濃度の測定期間は、1991年11月6日～7日の晴天静穏状態の期間であり、その測定方法は柳沢の NO₂ 個人サンプラーを用い、1.5mの高さで24時間暴露して、ザルツマン試薬で発色させて、その吸光度から NO₂ 濃度を測定した。筑波大学医学専門学群の学生の NO₂ 個人暴露濃度の測定は、1991年12月16日～20日の期間に NO₂ 個人サンプラーを被検者の胸に24時間付けてサンプリングし、同様に NO₂ 濃度を測定した。なお、今回の測定では地点番号45の玉取で、道路工事のため測定不可能であったので兩年とも46地点での測定結果を比較検討した。

結果

交差点における大気中 NO₂ 濃度分布：交差点における NO₂ 濃度最低値は6.62ppb(栗原駐在所前)、最高値は48.27ppb(吾妻)であり、その平均濃度は23.77±10.44ppbであった。46地点における NO₂ 濃度分布は15～20ppbの範囲(10地点)が最も多く、次いで20～25ppb(9地点)、10～15ppb(6地点)、35～40ppb(5地点)の順に続き、最も少ない4地点は5～10ppb、25～30ppb、30～35ppb、および40ppb以上の濃度域であった。

幹線道路別に濃度比較を行うと、1985年の調査では土浦野田線が最も高く、ついで土浦学園線、東大通り、西大通りの順であったが、1991年の調査では土浦学園線がもっとも高く、ついで土浦野田線、東大通り、西大通りの順で、学園線と野田線の順位の入れ代わりがみられた。1985年と1991年との濃度比較では、4線いずれも統計的に有意差はみられないが、1991年の値が高く、特に土浦学園線は1.3倍以上の値を示した。

学園線を中心として、それより北側と南側に大別して NO₂ 濃度を比較した場合、南側の28.47±8.05ppbは北側の17.58±7.42ppbよりも有意の差($p < 0.05$)で高値であった。

筑波大学医学専門学群学生の NO₂ 個人暴露濃度：筑波大学医学専門学群学生の NO₂ 個人暴露濃度は、最低値が3.41ppbで、最高値が94.26ppbであり、その平均濃度は20.2±15.3ppbであった。濃度別分布は10～15ppbの範囲が最も多く19人、次いで5～10ppbが18人と多く、15～20ppbが15人、20～25ppbが11人の順に続き、25～30ppbは4人、30～35ppbは3人、35～40ppbは2人、と高濃度になるに従って少なくなるが、40～45ppbで4人と高い度数を示した。

居室での暖房別に個人暴露濃度を比較すると石油内燃式の暖房使用者が28.34±13.99ppbで最も高く、次にガス内燃式28.04±12.84ppb、石油外燃式25.25±12.03ppbと高い値を示した。また、電気による暖房では18.03±15.70ppbと石油やガスの暖房使用者に比べると低値であり暖房の種類による NO₂ 暴露に違いがみられた。

白山山塊における資源利用と環境保全に関する社会生態学的追跡評価

(代表)糸 賀 黎
安仁屋 政 武
天 田 高 白
佐 藤 俊

1. 研究の目的と研究対象地域の概況

天然林や野生動物等の貴重な環境資源を地域に賦存する環境保全型過疎農山村においては、近世以降、農山村を取り巻く社会・経済情勢の変遷と共に、土地利用や環境資源利用の激しい地域変容の過程が生起してきた。この様な過程において、自然生態系や伝統的地域社会の改変・破壊が進み、各種の環境問題が顕在化してきた。本研究は以上の視点に立ち、環境資源の持続可能な保全・活用、いわゆるサステナブル・ユースを指向した環境保全型農山村社会のあり方を、現在進行中の地域変容の追跡・解析・評価を通して研究したものである。特に、過疎化現象の進行及びリゾート開発、それに対する住民主体による自然保護運動等の地域変容の問題を石川県白山山麓河内村を対象として検討した。河内村は林業等の産業不振と豪雪のため人口減少や過疎化が進んだ農山村である。このため村当局は、地域活性化の目的で、スキー場を核とした温泉休養地の整備を進め、通年型のリゾート形成のため、近年、リゾート法に基づく重点整備地区の指定をうけ、ゴルフ場を第三セクター方式で建設する計画を策定した。しかしこのゴルフ場計画は、金沢市民等を巻き込んだ一部の地元住民を主体とする自然保護運動により、特に1万8千人に上る反対署名により凍結され今日に至っている。そこで村当局は、地球環境保全都市宣言を行い、環境保全型社会の形成を指向した地域活性化の道を模索している。

本研究では、地域変容のプロセスを追跡・評価する際、従来の自然環境を対象とした客観的評価に加えて、地域住民の生活、環境資源の伝統的利用、自然観等の観点からの評価を行った。特に、住民の主観的意識を客観的に評価する手法を検討し、地域変容の追跡評価を通して、環境配慮指針作成のためのプロセスとその内容の在り方を研究した。

2. 研究の方法

- ① 客観的自然環境の評価項目を重ね合せて総合評価する。
- ② 住民の主観的意識や環境資源の利用状況を、植生図等の客観的データを用いて評価する。
- ③ 上記2つの個別評価を総合評価する。

なお、複雑なデータ処理を効率的に行えるよう、ARC/INFOの地理情報システム(GIS)を用いて、地域変容の現状を解析・評価した。

3. 結果及び考察

- ① 自然環境—自然環境の客観的総合評価として、(1)土地の崩壊危険性(傾斜度と崩壊危険性のある植生)、(2)植生自然性(植生自然度と貴重な植生)を分級し、(3)自然保全性として両

者を重ね合せ、5段階に総合評価した。

- ② 住民意識—住民意識を評価に取り入れるため、住民が利用・活用・保全したいと考えている環境資源をヒアリングにより地図に大まかにプロットし、これを地形、植生、土地利用等の客観的データと照合し、客観的住民意識図として図化した。
- ③ 自然環境と住民意識の評価により得られた各評価図を重ね合せ5分級の環境資源総合評価図を作成し、環境配慮指針ベースマップとした。

GIS利用により多数の主題図の作成や総合評価のための重ね合わせ処理や煩雑なテストの繰り返し作業が容易になり、有効な環境資源の客観的総合評価と環境変容の追跡評価が可能になった。

①の自然環境評価と②の住民意識評価を重ね合わせて比較検討すると、自然環境のみからの客観的評価では、「保全すべきである」という評価が下されなかった地域が、②の住民意識評価では、住民の生活環境や身近な環境資源として保全する必要がある地域として浮かび上がった。

例えば、自然保護運動の対象となって凍結されたゴルフ場計画予定地をモデルケースとして考察すると、次の点が明らかとなった。客観的自然環境評価では、ゴルフ場計画予定地である台地そのものは、保全性の低い評価になっている。しかし、住民意識評価では、かなりの程度で、地域住民が「利用している環境資源」「保全・活用したい環境資源」という評価が下され、保全性の高い地域であることが明らかとなった。特に、住民意識から得られたデータを客観的評価項目に取り入れることが、地域の環境資源の保全・活用にとって重要である。この地域は、河岸段丘と斜面林からなり、これに依拠して住民が安定的・安息的に「生きられる景観」であり、定住の原風景である。歴史的にみても、縄文時代の遺跡や、江戸時代の館跡があり、住みやすい環境であることがわかる。

このように、住民意識を自然環境の評価項目に取り入れることで、その地域の住民にとって必要な生活環境を評価することができる。ゴルフ場反対運動の動機となった「身近な自然そのものを残したい」「先祖代々伝わってきた土地を子孫にまで伝えたい」という思いは住民のエゴではなく、「生きられる景観」を表わすキーワードである。このようなキーワードに隠された住民の生活基盤を支える自然環境を客観的データから確定し、抽出することは意義があり、環境配慮指針作成項目として取り入れれば、より地域の実態に則した環境保全と環境資源の持続可能な利用が達成され得る。

(研究協力者：環境科学研究科2年渡辺いづみ 現在日本自然保護協会勤務)

○キーワード：GIS、住民意識、自然環境評価、環境配慮指針、自然環境保全、景観

熱帯の問題土壌地帯における植生回復に関する環境化学的アプローチ

(代表)久 島 繁
石 塚 皓 造
臼 井 健 二
東 照 雄

研究目的

タイ南部からマレーシアにかけての広大な低湿地にはマングローブ林が広く分布している。現在マングローブは材木、薪炭材として用途が広く、消費が伸びている。また、その棲息地は輸出用のエビの養殖池として造成が進んでおり、マングローブ林は急速に消滅しつつある。マングローブ林の消滅は自然の生態系の破壊に繋がる。また、同地域の漁業資源再生地としての機能が低下し、地域住民の生活の基盤が破壊され、社会問題が惹起している。これらの地域の植生の回復することは自然環境回復という観点ばかりでなく地域社会の安定に寄与するものと考えられる。我々は同地域における植生回復に関する基礎的な研究をカセサート大学との大学間交流協定を足掛りに行なっている。問題土壌の分布・分析研究、問題土壌に生育し得る植物の耐酸性・耐塩性等の生理的特質の研究、問題土壌に生育し得る植物の探索及び同様植物の人為的作出、それら植物の試験管内大量育苗系の開発あるいは現地での植物の植栽研究など多角的に試行している。

プロジェクトは下記の小課題に分けて実施している。すなわち、

－ 1, 問題土壌の分布・性質に関する研究(含現地調査), － 2, 熱帯問題土壌に生育可能な植物の探索, － 3, 試験管内大量迅速育苗系の開発, 試験管内における人為的耐性系統の開発, － 4, 当該植物の耐酸性・耐塩性等の生理的特質(植物栄養学的形質を含む)の研究, － 5, 現地での栽培, 植栽および日本への植物輸入と温室栽培－ 6, 植生回復と地域開発に関する現地調査, である。

研究の進行状況

－ 1, 全般的な文献学的研究を実施し、タイ語で発行されたマングローブ関係の論文を相当数見出した。英語以外の外国語で書かれたマングローブ論文が日本人の目にとまることはまれと考えられるので、報文抄録を作成し雑誌にて紹介した。

－ 2, マングローブおよびサゴヤシの試験管内大量迅速育苗系の開発及び試験管内における人為的耐性系統の作出系開発を継続した。マングローブについて脱分化状態を経ない大量増殖系の開発が難しいようであり、現在脱分化系を経た植物体再生系の確立を試みており、カルスの誘導にはほぼ成功した。マングローブ組織培養の最大の問題点はネクロティクな点とコンタミが激しい点であった。

脱分化状態を経ない大量増殖系における変異の有無は将来、マングローブあるいはサゴヤシ等の自然環境樹種を試験管内増殖させて実用化を計る上で必要な基礎的知見と考えられる。現在、アイソザイムレベルの変異について検討を行なっている。その結果、同系が安定した系であると同時に、

従来考えられていなかった生化学レベルの変異を含む可能性が在ることを突止めた。

－ 3, タイ産および日本産のマングローブを用いて, 土壌栽培および水耕栽培を試みており, 一定の成果をあげている。マングローブは熱帯産と考えられ, 低温耐性があまり強くないと推測されるが, 日本産マングローブの中から冬季加温しない状態で(すなわち摂氏零度C附近で)生存し, 越冬した個体を得ることができた。今後, 系統確立が出きれば有用な系統となるものと推測される。

－ 4, タイ南部のサゴヤシ調査および材料の収集を行なった。特に今回の調査で, 従来調査されていたパタルンク州ではなく, アンダマン海側のトラン州に大きなサゴヤシの群落が見出され, 今後詳細な調査が必要になるとともに, 材料の確保に大きな期待が持たれるようになった。同時にマングローブ調査と材料の収集を行なった。

－ 5, 研究の成果は生産環境制御論(久島繁), 土壌資源論(東照雄)にて紹介している。また, 研究参加者および国連地域開発センター研究員大矢鋭治氏による特別講義“東南アジアの自然環境保全／回復と地域開発(タイ問題土壌地帯における植生回復に関する環境化学的アプローチ)”を実施した。また, タイ人研究者タナット・タンヤバル氏による啓蒙のためのセミナーを1992年3月に開催した。

1991年度の研究成果は下記のごとく発表した。

刊行物発表

－ 1, Hisajima,S., E.S.Sim, F.S.Jong and Y.Arai, Propagation and breeding of sago palm (*Meteroxylon* sp.) plant in vitro: 1. Embryo culture and induction of multiple shoots from sago embryos in vitro. Jp. J. Trop. Agric., 35: 259-267 1991

口頭発表

－ 1, 農芸化学会(東京)1992, 4月
橋場雅道, 久島繁, 米津雄一, 田中豊三, 新井勇治
大量迅速育苗系における生化学レベルの変異

環境科学における安定同位体の利用に関する研究

(代表)田 瀬 則 雄

古藤田 一 雄

前 田 修

自然界に存在する安定同位体を利用した研究は、個々の学問領域では古くから行なわれてきたが、環境科学という学際的な視点から利用された例はあまりない。しかし、最近自然界に存在する安定同位体存在比を測定することにより、物質の挙動を追うだけでなく、人間を含めた生物の生活様式の解明など各種の応用がなされるようになってきている。

本プロジェクトは平成元年度の特別設備費で当研究科に設置された安定同位体測定装置(H, C, N, O, Sの測定が可能)を積極的に利用するために活動することを目的としている。

平成元年度は設置に伴う本体および周辺環境、設備の整備、さらに同位体を利用した研究の簡単なレビューと研究可能テーマの検討を行ない、簡単なパンフレットを作成した。平成2年度は具体的な研究への応用と周辺機器の整備を行った。平成3年度は具体的な研究を実施した。成果の一部は修士論文としてまとめられたものもあり、その他学会などで口頭発表し、学会誌へも投稿している。

具体的な研究としては、

①自然水系における浄化機能の評価、特に脱窒作用の評価に ^{15}N が利用できるかどうかを玉川上水を中心に行ない、窒素の形態変化だけでは検討できない有用な情報が得られることが判明した。

詳しくは、新井秀子(平成2年度修士論文)と鈴木力(平成3年度修士論文)を参照されたい。

②長野県菅平において、水系中の窒素の挙動—供給源、湿地での浄化など—を硝酸イオンなどと同時に ^{15}N 安定同位体比を測定することにより検討している。一部の成果は谷山稔(平成3年度修士論文)としてまとめられた。

③河川の流下に伴い蒸発がどの程度起こるのかを ^{18}O を用いて玉川上水で検討した。観測の結果からは、流下により蒸発が起こり、同位体の濃縮がわずかに起こることが認められたが、その量は微々たるものであることが判明した。

④広島市郊外の小河川において降雨—流出過程における流出成分の表流水(雨水)と地下水との分離を ^{18}O を用いて試みた。

⑤長野県菅平の根子岳南西斜面において、高度による ^{18}O 同位体比の変化—高度効果—がどの程度存在するのかを検討した。降水の観測では、既存の文献と同様な値が得られた。また、河川水はそれらを反映したものであることも判明した。

詳しくは、宮下雄次(平成3年度自然学類卒業論文)を参照されたい。

⑥大気中の水蒸気の同位体比を測定するための水蒸気の補集法を検討し、水循環との関係での水蒸気の同位体特性を検討し始めた。

⑦基礎的なデータとして、大学構内において降水中の酸素同位体比を毎月測定している。

以上の状況でまだ応用分野が偏っているが、生物、農学、地学など多くの分野での利用が可能であり、環境科学研究科内での機器の積極的な利用により、多分野での多くの成果を期待したい。

微量化学物質による環境破壊反応の分子モデル化と教育への効果

(代表)手塚敬裕

関李紀

現在、重大な地球宇宙規模の環境問題の一つにフロンなどの微量ガスによるオゾン層破壊がある。“教育への効果”と題する本研究でこの問題を取り上げ、化学反応が現代の環境問題と如何に密接に関連しているかをモデル化して示し、学生に対する教育効果をしらべた。

化学物質や化学反応に対する正しい認識(現代の正しい物質観(哲学))とそれに礎く教育は今日の環境問題の理解と解決のためにきわめて重要である。一方、“化学”の一般市民への正しい伝達と教育が大変重要といわれているが、オゾン問題はまさに最適のモデルであると考え(しかしこのような試みは少ない)。

オゾンは酸素原子三個が横に結合した分子(図1の1)で通常気体で存在し酸化力が強い。対流圏にも存在するが、いわゆるオゾン層破壊のオゾンは成層圏(地上10~50km)の20~40kmに低濃度(平均約6 ppm(体積))で存在する。

成層圏のオゾンの働きは紫外光線(3100Å以下の光)を遮断することであるが、これはオゾン(1)が太陽光のうち紫外線を吸収して分解し、酸素分子(2)と酸素原子(3)になる化学反応によるものである。結局この光反応の結果、紫外線がカットされ、そのため地球上のあらゆるもの(生物のみならず)は紫外線によるきびしい光分解から守られる。

ここで重要な点がある。それは上記の紫外線による光反応によってオゾン(1)は一方向的に減少するはずなのに、実際には成層圏で一定の濃度を保っている。何故であろうか。それは光反応で極端にオゾン濃度が減少すると、こんどは逆に暗反応(熱的反応)が起り酸素分子(2)と酸素原子(3)が再結合し、オゾンを再生しているからである。ここには正確な化学平衡の法則が働いている。図1で(1) \rightleftharpoons (2)+(3)で示した矢印が化学平衡の存在を示している。また図2にやや定量的にそれを示した。矢印のように行ったり来たりしてバランスをとり、ある点(P)で平衡状態となっている。これを支配するものは光や熱(暗)エネルギー及び確率因子である。

余りにも絶妙なこの調和平衡の仕組は一見すると何者かにあやつられているかに見えるが、これは化学の法則以外の何者でもない。オゾン層でみたこのバランスと調和平衡の法則は分子のレベルにおいて、他の多くの(生体内分子を含む)場合において成り立っているものと考えられる。成層圏は数少ない化学種が存在するのみであり、分子レベル、電子レベルでのこの調和の法則を理解しやすい。これは最近特にラブロック Lovelock¹⁾によってまとめられたバイオスフェア、地球生命圏なる“ガイアの科学概念”と関連し興味深い。この地球全体が一つの生命体であるという考えは、分子種のみ存在する成層圏においてより明確にみることが出来る。電子・分子レベルでこの概念を証明したのはこれがはじめてである。これを個体間に拡張できればラブロックの地球生命圏が科学的に確かなものになるはずである²⁾。

さて問題はフロンとオゾンである。本来調和されていたオゾンの世界に異物としてフロンが侵入し、従来にない方法でオゾンを食いつくそうとしている。“従来にない方法”というところが重要である。次にそれを説明するが、その前にフロンについて簡単に述べておく。

フロンはフッ素と塩素の炭素化合物(クロロフルオロカーボン(chloro fluoro carbon))で、一般にCFCと書く。そしてフッ素や塩素の数を示し構造を表わすためにCFC-ijkとしてijkに数字を入れる。CFC-11, CFC-12はそれぞれ(4)と(5)の構造で表わされる。その他のいくつかを表1に用途と共に示したが、これらは主に冷媒, 洗浄剤, ヘアースプレー, 薬剤の噴霧剤などに使用されている(すでに2千万トン以上は生産されている)。

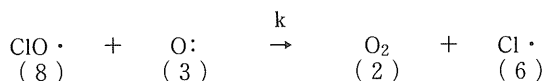
オゾン層破壊の化学反応はラジカル連鎖反応であり、図3のスキームに従って進行する³⁾大変特異な連鎖反応である。そして図3が従来にない方法で環境破壊の起る様子をモデル化し、視覚的に示したもので、本研究で最も重要な点の一つである³⁾。一粒(分子)のフロン(異物)が惹起する光化学反応によって次から次と多数個のオゾンが食いつぶされ、消滅するのがこの特異なやりぐちである。この類のものは環境中で、大きな破壊をもたらす。

CFC-11(4)を例にとると、まずこの分子が成層圏で紫外線を吸収し、炭素-塩素間(C-Cl)がラジカル解離して塩素ラジカル(6)が発生する。(ラジカルとは一個の電子が分子の外に出た、きわめて短寿命で活動的な化学種であり、次にすぐ反応する)。塩素ラジカル(6)は近くにあるオゾン(1)を攻撃して反応し、その結果オゾンは分解して酸素分子(2)と酸素化塩素ラジカル(8)を生成する。酸素化塩素ラジカル(8)はそこに存在する第三の化学種(X)と反応して、塩素ラジカル(6)を再生する。するとこの塩素ラジカル(6)は再びオゾンを攻撃し、これを分解して(2)と(8)とする。(8)から再びXの作用で塩素ラジカル(6)が生成する。従って一個のフロン分子の光分解で次から次とオゾン(1)が消滅することになる。すなわち、これがラジカル連鎖反応であって、オゾン層破壊の中心的な化学プロセスである。

理論的に一個のフロンで全てのオゾンが消滅することになるが、実際にはこのラジカル連鎖反応を断ち切る物質や化学プロセスが存在していて、そのため全てのオゾンが消滅することはない。しかしそれにしても一個のフロンの光分解で多数個のオゾンが消滅することは確かである。

ところで第三の化学種Xについてであるが、ここがさらに特異なところである。Xの化学種としては酸素原子(3)とNO₂などがある。

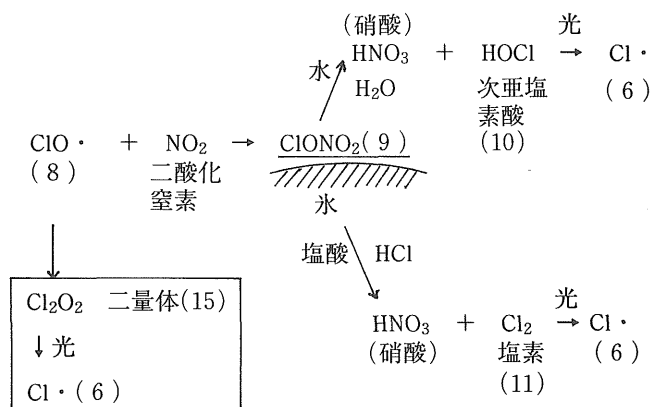
前者の場合、化学反応式は下記のものとなり、これによって酸素分子(2)と塩素ラジカル(6)が生成する。(3)は成層圏に常に存在するが、反応速度(k)あるいは観測された南極のオゾン濃度の年間の変化量(9月, 10月南極の春に減少する)から判断して、この可能性は少ない。



第二のものはやや複雑である。まず酸素化塩素ラジカル(8)が二酸化チソン(NO₂)と反応してまず硝酸酸素化塩素(ClONO₂)(9)となり安定化する。(9)は極成層圏雲(PSC)の微小な氷の上で冬を越し、やがて春になると氷の上で水(H₂O)と反応するか、塩酸(HCl)と反応して次亜塩素酸(10)

や塩素(11)を発生し、これらが光分解すると塩素ラジカル(6)が再生される。かくして(6)は再びオゾンと反応して、さきのラジカル連鎖反応に入る。多分水の表面で反応が進行しているとされていて、新しいタイプの化学反応とみることができる。

上の点は重要なので下記に化学式で示した。



ここで(9)が氷の表面に貯えられ、その上で固相反応が起りやがて塩素ラジカル(6)を再生する^{4,5)}。一方最近の研究では(8)の二量体(15)の光分解で塩素ラジカル(6)を再生することが示された(角カッコ内)⁶⁾。いずれにしる生合成サイクルや重合反応の連鎖とは異なる。また当然ながら、いわゆるねずみ算式の核爆発時の連鎖反応(図4)とも異なる。以上のように従来にない方法で効率よくオゾンが分解するのがオゾン層破壊の新しい化学反応である。

オゾンそのものではないが、手塚研究室ではかねてより α -アゾヒドロペルオキシド試薬(13)を使ってベンゼン中のラジカル連鎖反応の基礎研究を行ってきた。特に最近田島修士によって熱心に研究されたが、その結果ラジカル連鎖反応を効率よく進行させるのにはある種の“反応の場”の形成が重要であることを見出した^{7,8)}。

図5のビフェニル体(14)生成において試薬(13)が溶媒として使用したベンゼンとラジカル連鎖反応(図5の*)して高収率でビフェニル(14)を生成するが、この時試薬(13)の水素結合した分子集合体中で反応が効率よく起る。この場合簡単なラジカルトラップ剤の影響は余り受けないという大変重要な現象を発見した。

私共のこのような研究などから考えて、オゾン層破壊を止めるためには、フロン代替品の開発と同時に図3のラジカル連鎖を切断するプロセス(化学的、物理的)を開発することが重要ではなかろうか、という一つのアイデアを得た⁹⁾。

さて“教育効果”のことであるが、平成4年度の1年生で「化学反応環境論」を受講した学生についてしらべた。このクラスは生物、薬学、農林、中国の留学生など化学専攻以外の学生で構成されていて、かっこうのテストの場であった¹⁰⁾。アンケートと問題を出しレポートにて、オゾンの消失現象の理解度をしらべた。その結果の詳細な解析検討の結果、今回十分なる成果が上ったと判

断した。ただ一般にこれを理解してもらうためには、かなりの努力が必要であることも明らかである。

ラジカル連鎖のモデル図3は手塚研の増子崇修士がコンピュータで行った¹¹⁾。また一方地球サミットの開かれている今、このような重要な問題のために研究費をいただき本研究を可能なものとしていただいた、環境科学研究科の先生方に謝意を表す¹²⁾。

文献など

1) ラブロック J. E. Lovelock, 「地球生命圏—ガイアの科学」スワミ・ブレム・ブラブッタ訳, 工作舎(1984)。“ガイア”とは地球の生物, 大気, 海洋, 地表といった全てのものは互いに調節機能を持ち, 全体としてあたかも一つの生命体のように働き環境を調整しているという仮説である。

これは万物は万物のためにあり, 人間はその一部にすぎない。ひとり人間だけのために自然があるわけではないといった昔から我国にもあった考えに近いように思う。そしてこのことは環境問題を考える上で重要な出発点(哲学)である。

しかしさらに重要な点はこの概念, 仮説が科学的に証明できなければ単なる宗教的な信条に終わってしまう, ということである。Lovelock は生態系の相互作用などでこの科学的証明を試みているが, この場合の系は複雑であり, それに成功しているとは思われない。

本研究では作用因子の少ない成層圏という場を例にとりて分子・電子レベルでこの証明を行った。すなわち分子間である一定条件下に起る平衡こそその原理であることを述べた。平衡を支配するものはエネルギー(この場合光や熱エネルギー)および確率因子である。ここではじめて化学平衡の原理が環境中での調和現象と関係づけられた。

ただ図1の $O_3 \rightleftharpoons O_2 + O$; $K = [O_2] \times [O] / [O_3]$ の式で注意すべき点は, これは最終的な帰結を示したものであって, 本当の式はさらに成層圏ガス因子である $O(^1D)$, $O(^3P)$, NO , NO_2 , N_2O , CO_2 , H_2O , CH_4 , $\cdot OH$ などが介入した反応式となる。それらを反応速度濃度などによって評価していった最終結論が上の式である。

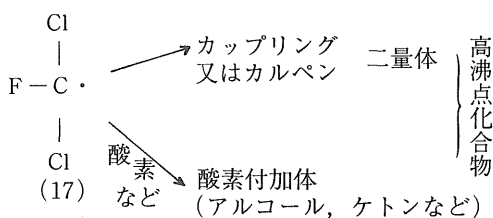
式の誘導などでは下記の参考文献がある。

J. G. Calvert, J. N. Pitts, Jr. "Photochemistry", John Wiley & Sons, INC (1967); 林太郎ら「酸素の化学」, 共立出版(1973); 秋元肇, 林田佐智子「成層圏大気中の化学反応」日本化学会編「フロンの環境化学と対策技術」p.37(学会出版センター)(1991)

2) 分子間で成立するこの法則の重要な支配因子(力)はエネルギーと確率因子である。その意味で個体も共通のエネルギー場にあるのであるから分子レベルでみた平衡バランスの法則は適用可能に思える。しかし分子レベルと個体間の関係をうめるための完全なる方程式を得るにはさらなる研究が必要である。

3) よくテレビなどで赤や青い玉で表現しているが, 本研究ではラジカル性を示すために凹凸のかけを使った。

- 4) アメリカ化学会, Chem. & Eng. News, 1987年11月2日号, p. 7 及び p.22
- 5) 忠鉢繁, Newton, 9巻4号, p.52(1989); 富永健, 現代化学, 5, p.20(1975); 日本化学会編「フロン(4)の環境化学と対策技術」化学総説 No. 11(1991)(学会出版センター)
- 6) アメリカ化学会, Chem. & Eng. News, 1992年2月10日号, p.4
- 7) T.Teزuka, K.Sasaki, N.Narita, M.Fujita, K.Ito and T.Otsuka, Tetrahedr on Letts., 30, 963(1989).
- 8) T.Teзuka and Y.Tajima, 投稿準備中; 田島右副, 学術修士論文(筑波大学), 1991年; T.Teзuka, K.Muramatsu, H.Wong, M.Goto, 投稿中
- 9) 実験室の基礎反応も大気・成層圏の反応も全く同一法則(電子理論)で起こるので, この予測が可能。
- 10) 学生より質問があり, フロン(4)の分解で塩素ラジカル(6)と共に発生するジクロロメチルラジカル(Cl₂FC·)は最終的にどうなるか大変重要な点が指摘された。そのような研究自体はないように思うが, 有機電子論による予測を示した。⁹⁾



すなわち二量体となるか酸素付加体が生じやがて高沸点化合物となり下に沈降することが予想される。しかし一部反応中に塩素ラジカル(6)を発生することもあり得る。

- 11) 増子崇修士論文(環境科学), 筑波大学, 1992年
- 12) 上記の他, 多くのオゾン環境問題の我国における参考書・単行本を使用した。紙面の都合で引用できないが, ここに謝意を表する。 (1992年6月執筆)

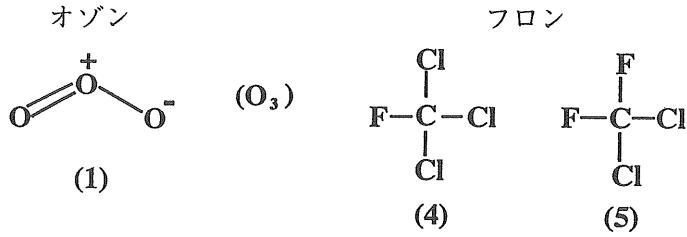


表1 主要なフロンとその主な用途

フロン CFC	分子式	沸点(℃)*	主な用途
CFC-11 (4)	CFCl_3	23.7	ウレタンフォーム 冷蔵庫の冷媒 ドライクリーニング
CFC-12 (5)	CF_2Cl_2	-29.8	冷蔵庫の冷媒 エアコン(自動車・家) 発泡剤
CFC-22	CHClF_2	-40.0	エアコン(家の冷房) エアロゾル 発泡剤
CFC-113	$\text{C}_2\text{Cl}_3\text{F}_3$	47.6	エレクトロニクスの洗浄剤 発泡剤
CFC-114	$\text{C}_2\text{Cl}_2\text{F}_4$	3.6	冷却剤
CFC-115	C_2ClF_5	-39.1	冷却剤 発泡剤

* 沸点の低いものは気体

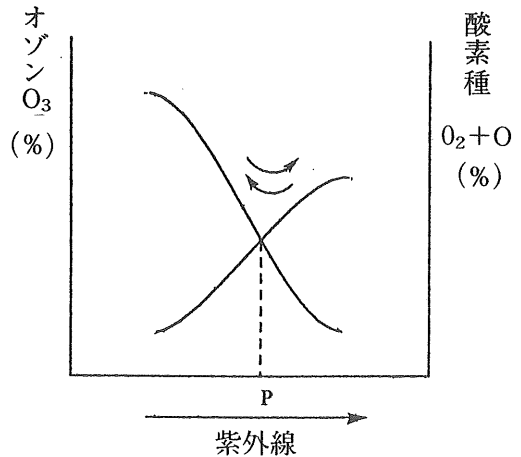
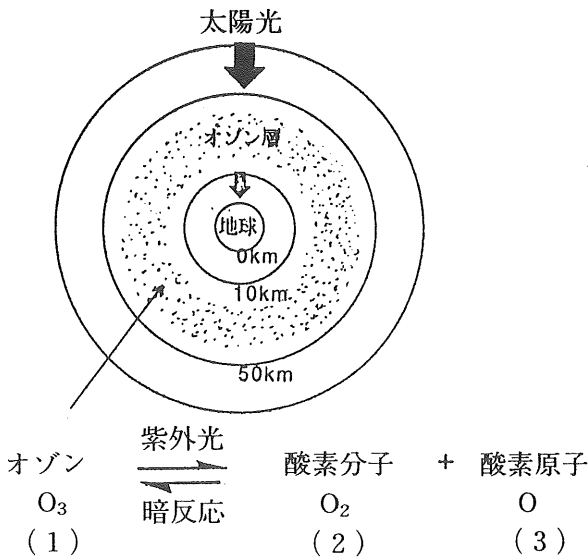


図1. オゾンによる紫外線の遮蔽

図2. オゾン層における酸素オゾン間の平衡

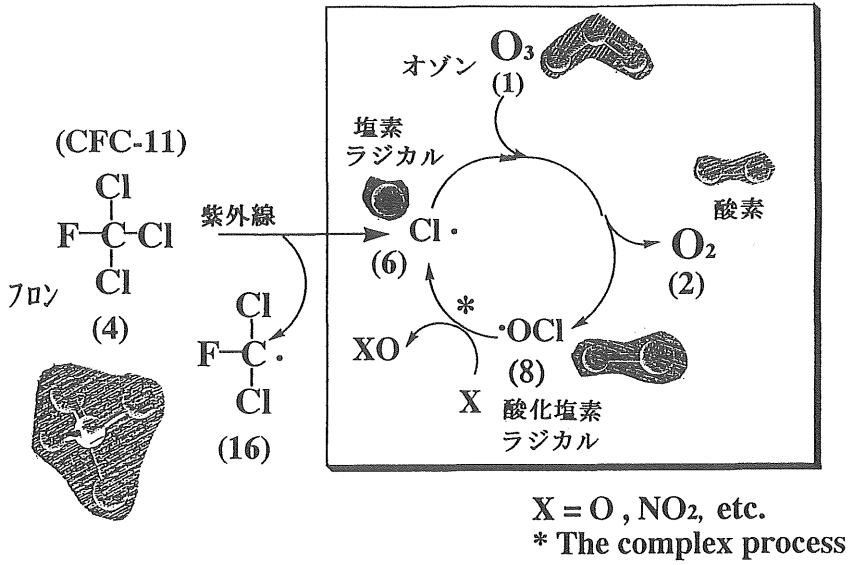


図3 オゾン層破壊のラジカル連鎖反応

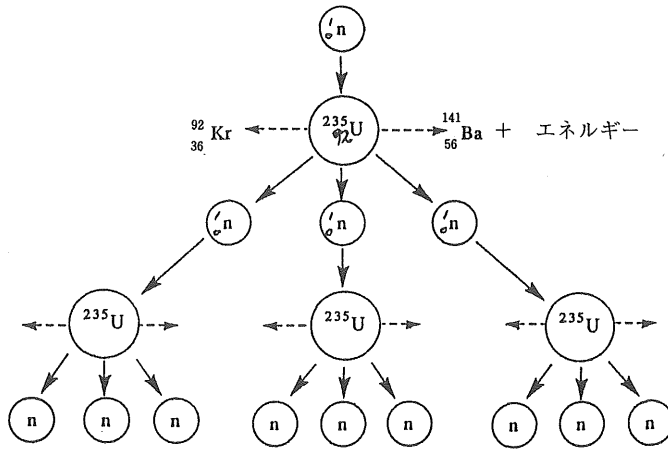


図4 核爆発の連鎖反応の一例

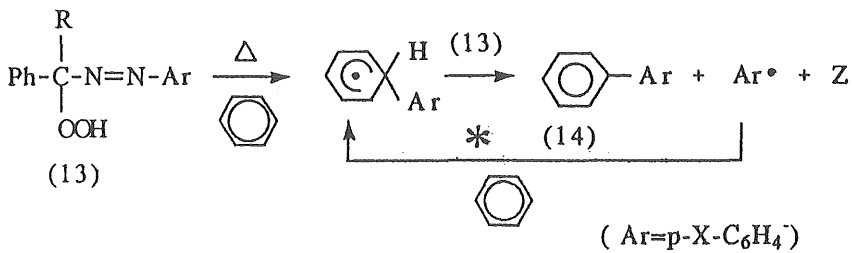


図5 ラジカル連鎖反応の例