

環日本海域の土壌・陸水相互作用による炭酸ガス吸収量の評価  
研究成果概要

環日本海域炭素循環研究会

丁子哲治，川上智規，上坂博亨，袋布昌幹，高松さおり

1．緒言

本年は洞爺湖サミットの年である。京都議定書を越えて，世界全体が参加する温室効果ガス排出削減のための新たな枠組みが必要とされている。確実に大気中の温室効果ガス濃度が上昇するにつれて地球の温暖化が起こっており，これをいかに食い止めるかについて，洞爺湖サミットでは，地球温暖化問題が話し合われると考えられている。

大気中の温室効果ガスの削減のためには，まず，排出量の抑制が必要である。必要なエネルギー量を確保しつつ，温室効果ガス排出量を減らすには，化石燃料に頼らず，風力発電，太陽光発電等に頼るほかなさそうだ。

大気中の二酸化炭素を吸収させる方法として，バイオマスが考えられる。いわゆる森林面積を増やすことである。成熟した森林は，二酸化炭素の吸収と放出とのバランスが取れており，地球全体の二酸化炭素の減少には貢献しない。しかし，森林のバイオマスが増加する段階では，バイオマスが増加した分だけ大気中の二酸化炭素をバイオマスとして固定していることになる。この考えが，バイオマスによるカーボンニュートラルである。

大気中二酸化炭素の多くは海洋に溶解する。これによって，最近海洋の酸性化問題が持ち上がり始めている。二酸化炭素が溶解して酸性化し，炭酸カルシウムを成分とする貝類などの生態系への影響が懸念されている。

以上の他に，降水量が多い地域の土壌によって無視できない二酸化炭素固定化能があるのではないかとことから，本研究を行った。地球温暖化現象の将来予測を行うことは環日本海地域においても重要なことである。本研究では，研究代表者がこれまでに研究を進めてきた，土壌と陸水との相互作用による酸性雨の中和作用を発展させ，環日本海域の土壌を通した炭酸ガス吸収ポテンシャルの評価を行い，温室効果ガスの将来予測を試みた。

2．土壌による二酸化炭素固定の概要

土壌の炭酸ガス吸収能力の評価については次の通りである。降水のpHは，ほぼ4～5であり，弱酸性を示す。このようなpHを示す水溶液中には二酸化炭素はほとんど溶解しない。しかしながら，このような降水が地表に降り注ぎ，やがては地下水を経て河川水となる。河川水のpHはほぼ7～8の弱アルカリ性である。弱アルカリ性の水溶液にはかなりの量の二酸化炭素が溶解する。したがって，二酸化炭素を含まない降水が河川水となった時点でかなりの量の二酸化炭素を含むことになるが，その量よりはるかに多くの二酸化炭素が土壌中で固定されていることが既にわかっている<sup>1, 2, 3)</sup>。図1は，降水が土壌と反応するメカニズムの概略を示す。

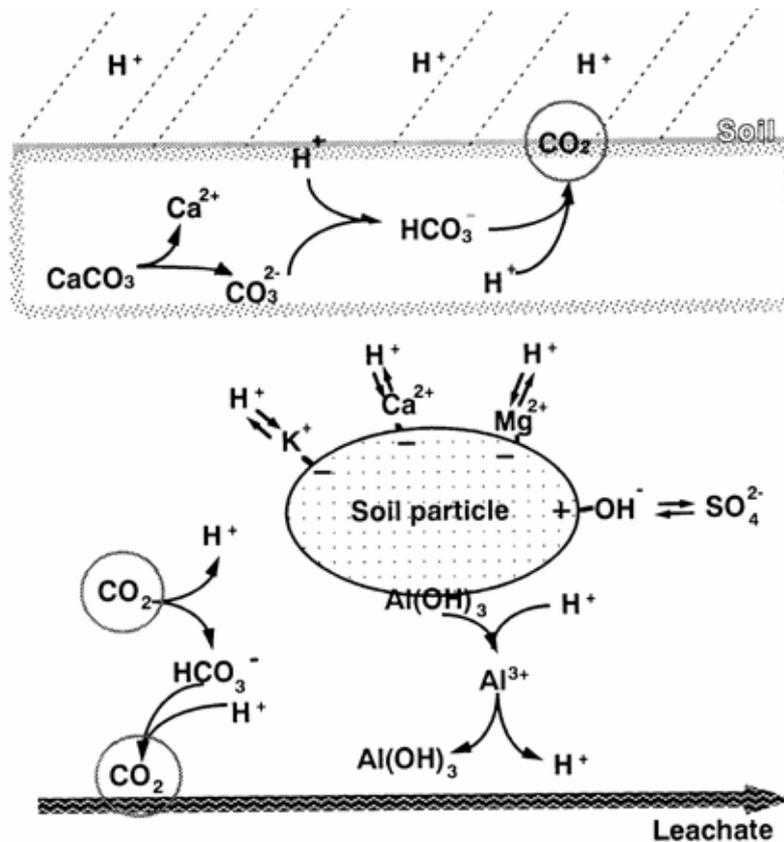
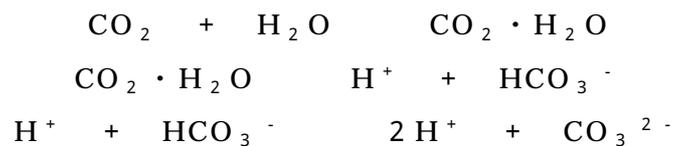


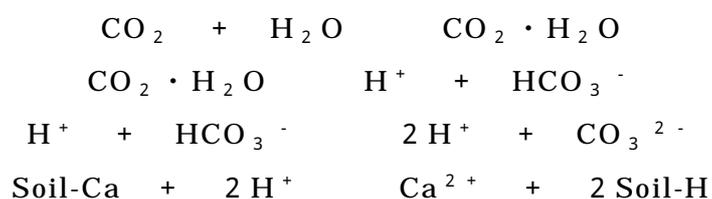
図1 土壌中の反応メカニズム

水溶液に高圧の二酸化炭素を接触させると、つぎの反応が起こる。



すなわち、二酸化炭素の溶解により pH の上昇が起こる。しかしながら、気体中の二酸化炭素が大気と同じ濃度に戻ると、上記の反応は逆に進み、pH は元に戻り、溶解していた二酸化炭素は放出されてしまう。これでは、二酸化炭素の固定化にはならない。

次に、土壌粒子を含む水溶液に高圧の二酸化炭素を接触させるとどうなるか。反応は次の通りである。



この場合には、純水に二酸化炭素を溶解した場合より pH の上昇が大きく起こるが、弱アルカリにまでなることはない。さらに、気体中の二酸化炭素が大気と同じ濃度にもどると、同様に pH の値も元に戻る。

ところが、気体中の二酸化炭素濃度が高い状態で、土壌粒子を除去した後に、気体中の二酸化炭素が大気濃度に戻ると、逆に pH が著しく上昇し弱アルカリとなることによって、多量の二酸化炭素が溶解した状態になるばかりではなく、土壌から溶解したカルシウムイオンと反応して炭酸カルシウムとして溶液中に固定される。

### 3. 衛星データを用いた土壌機能解析

#### 3.1 衛星データおよび解析ソフトウェア

二酸化炭素固定量を詳細に検討するためには、土壌被覆情報に土質情報を加味する必要がある。土壌被覆解析のためには衛星データを用いる方法が知られている。また土壌被覆情報に土質情報を重ね合わせるためには GIS ソフトウェアを使用する方法がある。

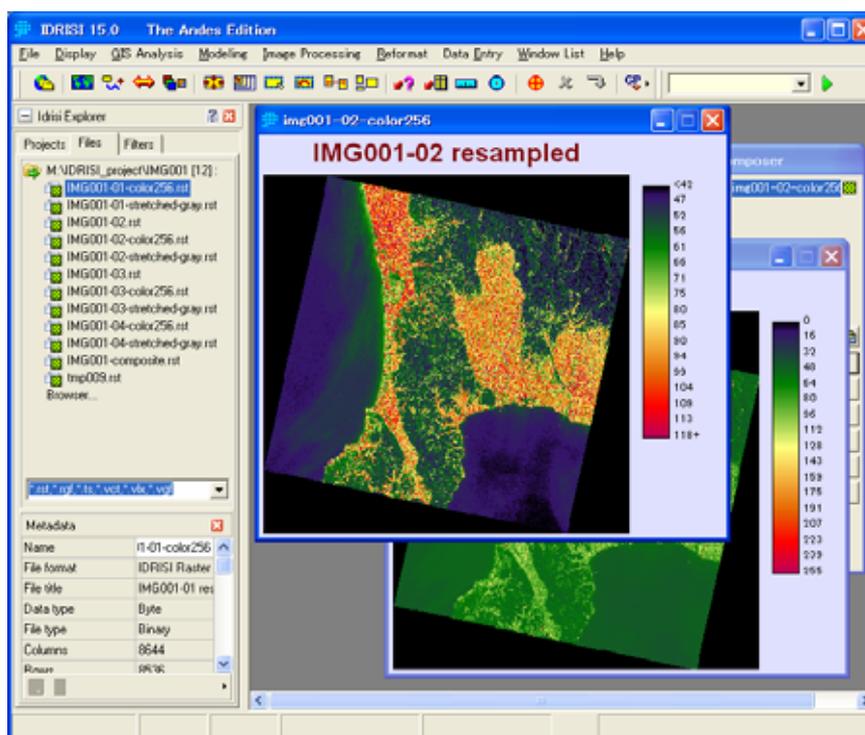


図2 IDRISI Andes 操作画面

本研究では衛星データとして陸域観測技術衛星（ALOS）に搭載された AVNIR2 センサーで観測されたデータを用いることにした。AVNIR2 は可視光 RGB の3バンド（0.42～

0.50  $\mu\text{m}$  , 0.52 ~ 0.60  $\mu\text{m}$  , 0.61 ~ 0.69  $\mu\text{m}$  ) と近赤外 1 バンド ( 0.76 ~ 0.89  $\mu\text{m}$  ) からなる 4 バンドを観測している。データの地上分解能は 10m で , 土壌被覆解析が可能なデータである。入手したデータは 2007/9/11 および 2007/10/10 に観測されたもので雲量 1 以下である。

データ解析には米国 Clark University 開発の「IDRISI Andes Ver.15.01」を用いた。IDRISI Andes は , 画像処理と GIS 機能を合わせ持ったデジタル空間情報処理統合ソフトウェアで衛星データ解析にも広く用いられている。これにより衛星データと土質情報を重ねた解析が可能であり  $\text{CO}_2$  吸収に関するより詳細な推定が可能になると考えている。なお IDRISI Andes で読み込み可能なデータフォーマットは多岐に渡るが ALOS データの標準フォーマットである CEOS フォーマットへの対応が確認できなかったため , 今回は GeoTIFF 形式に変換された AVNIR2 データを用いることにした。

### 3.2 ニューラルネットワークを用いた解析方法の検討

データ解析のために IDRISI Andes を選択した根拠として本ソフトウェアが多機能であるという点があるが , その中でもニューラルネットワークを用いた土地被覆分類が可能である点に注目した。ニューラルネットワークは生物の脳 ( 神経回路網 ) にヒントを得て開発された情報処理技術で , 従来の処理方法に比較して「あいまいなデータ処理」が可能である。(しかし , いわゆるファジー理論とは異なる)。またデータ分類や予測のためのルール ( 非線形変換関数 ) を「学習」という処理を通じて自己形成する機能があるため , NDVI 法などの理論的計算手法によるデータ解析に比べて発見的なデータ処理が可能である。

ニューラルネットワークモデルは 1985 年以降を中心に様々なタイプが提案されているが , それらは「教師あり学習モデル」と「教師なし学習モデル ( 自己組織化モデル )」に大別される。IDRISI Andes には , 教師ありモデルとして MLP ( Multi Layer Perceptron model ) , 教師なし学習モデルとして KNN ( Kohonen Nearest Neighbour model ) の各モデルによる解析機能が搭載されている。

MLP モデルは一般に , 入力層・中間層・出力層という 1 次元に配列した 3 種の神経細胞群から構成されることが特徴である ( 図 3 )。通常はそれぞれ 1 層 ( まれに中間層を 2 層とする場合もある ) から成り , 入力層に与えられたデータベクトルと重みベクトルの内積を出力層に向かって計算することで出力値を得る方法である。この時に使用する重みベクトルは実データに基づいて自動的に生成することが可能であることがわかっている。この方法は「重み逆伝播学習法 ( バックプロパゲーション法 )」と言われており , MLP モデルのもうひとつの特徴として知られている。本法では実験者は予め「広葉樹林」「針葉樹林」「田畑」などのクラスターの種類と数を決めておき , それに対応する入力パターンをニューラルネットワークに学習させる手続きを取る。

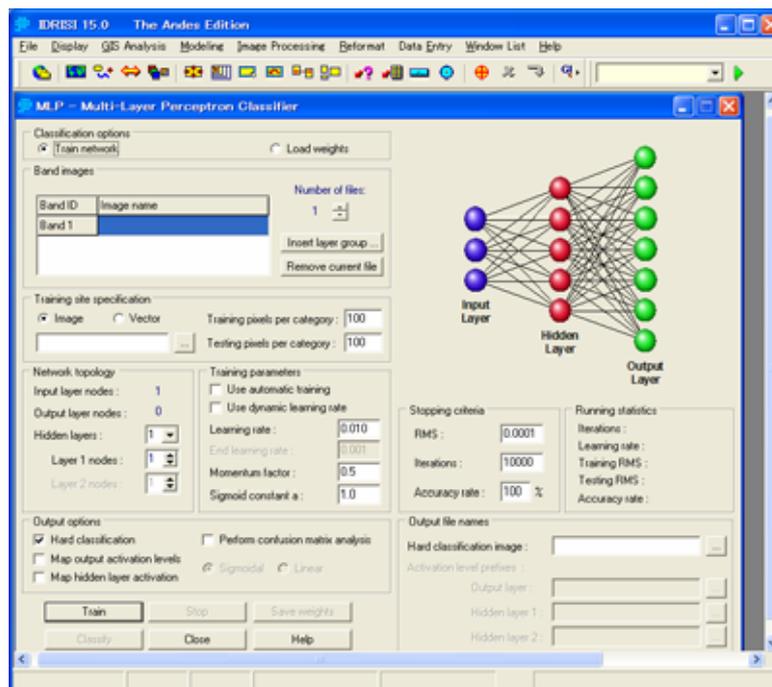


図3 MLPモデルの操作画面（右上の図が3層ニューラルネットワーク）

KNNモデルは一般に1層からなる2次元の神経細胞群（マップ）と入力層から構成される。入力層の各神経細胞からマップの全神経細胞に結合を持ち、ここにMLPと同様に重みベクトルを持たせている。入力層に入力されたデータベクトルに重みベクトルを掛けてマップ上の細胞に内積を蓄積する。この後、最も大きな内積値を得た細胞を中心にして重みベクトルの修正（学習）を行う。その結果として「類似入力パターン」がマップ上で近傍に位置づけられるように調整される。この方法では、与えられたデータ群が自動的にいくつかのクラスターに自動分類されるため、実験者が予めクラスターの種類や数を決めておく必要がない。

今回の研究にはMLPモデル・KNNモデルともに適用可能であり、従来からのNDVI法などと比較することでより真に近い土地被覆の解析が可能になると考えている。

#### 4. 土壌による二酸化炭素固定量の評価

土壌の質によって土壌中に固定される二酸化炭素量は異なるので、実測して求めなければならない。実際に、サンプルをいくつか測定した結果、上記の反応により水溶液  $1 \text{ m}^3$  あたり  $1 \sim 5 \text{ mol}$  の二酸化炭素が固定される土壌であった。この値に基づいて、森林地域における降水によってどれだけの二酸化炭素が固定されるか、その量の推定を行った。富山県の森林面積は、 $2,846 \text{ km}^2$  である。これに富山県内の降水量、およびその蒸発量などを考慮して計算すると富山県の森林面積に注がれる降水量は、 $2.52 \times 10^9 \text{ m}^3$  である。した

がって、この降水によって固定される二酸化炭素量は、 $1.10 \times 10^5 \sim 5.50 \times 10^5$  tと推定された。

先ごろ環境省より発表された平成18年度の都道府県別の二酸化炭素排出量<sup>4)</sup>によると、富山県では4,473,791tである。したがって、富山県内の森林土壌で固定化される二酸化炭素の量は、県内で排出されている二酸化炭素量の2.5%～12.3%であることがわかった。

神通川流域での二酸化炭素固定量も推定した。神通川の流域面積は2,688km<sup>2</sup>である。先ほどの富山県の森林面積とほぼ一致する。神通川の神通大橋付近での年間河川流量は、 $4.73 \times 10^9$  m<sup>3</sup>である。これに対して同様に解析すると、 $2.08 \times 10^5 \sim 1.04 \times 10^6$  tの二酸化炭素が固定されていることになる。この量は、富山県が排出する二酸化炭素の4.7～23.3%に相当する。

以上のように、相当量の二酸化炭素が土壌機能によって固定化されているものと示唆された。しかしながら、この量は土壌の質に大きく依存するものである。実際には、生態系の豊かな土壌では機能が高いが、生態系が失われたような乾燥地土壌ではほとんどその機能はないものと思われる。また、降水量がある程度多いことが必要であり、降水量が少ないとそれだけ二酸化炭素の固定量も少なくなる。このことは、地球温暖化が進行し、降水量が減少することになれば、さらに二酸化炭素の固定量が減少し、地球温暖化現象に拍車をかけることとなる。

## 5. 結言

本研究で、定量的に我が国の陸水・土壌の炭酸ガス吸収ポテンシャルを評価できれば、ポスト京都議定書における炭酸ガス排出量に関する政策誘導にも大きな影響力を有すると考えられ、本研究の与えるインパクトは極めて大きいと考えられる。なお、本研究において詳細な解析はいまだ粗い。今後は、より詳細な二酸化炭素固定量について解析を継続する予定である。

## 引用文献

- 1) Chohji, T., C. Nakagawa, and E. Hirai; "Analysis of Neutralization of Acidic Precipitation with Soil," *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **19**, 795 - 802 (1993)
- 2) Nakagawa, C., T. Chohji, and E. Hirai; "A Study of Neutralization Mechanism of Acid Precipitation with Soils Based on Chemical Equilibrium," *J. Japan Soc. Water Environ.*, **16**, 114 - 121 (1993)
- 3) Nakagawa, C., T. Chohji and E. Hirai; "Contribution of Carbon Dioxide to Neutralization of Acid Precipitation with Soil," *J. Japan Soc. Water Environ.*, **16**, 175 - 182 (1993)
- 4) 環境省：地球温暖化対策推進法に基づく温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度による平成18年度温室効果ガス排出量の集計結果，(2008)