

《シンポジウム 「経済圏拡大と環境・成長」》

司会：午後は「経済圏拡大と環境・成長」というテーマで、3人の先生に発表していただきます。シンポジウムらしく活発な議論が行われる雰囲気にしたかったので、この話も次の話も、分からないことが途中であれば私も大いに茶々を入れますけれども、皆さんも質問していただければと思います。では、よろしくお祈いします。

地球陸上植物による二酸化炭素吸収量の推定

——衛星画像データによる自然環境の計測——

醍醐 元正

(同志社大学経済学部教授)

はじめに

私の話は経済とは直接関係ありませんが、このごろ関係のあるような雰囲気が出てきた二酸化炭素です。ご存じのように、地球上の二酸化炭素はわれわれが常に排出して、それを植物が吸収しています。その吸収している量を推定しようというのがわれわれの研究です。自然環境の計測ですから、直接経済とは関係がないといえるということです。共同研究者は5人です。実際には奈良女子大学の学生さん等とも一緒にやっています。目的は、地上の陸上植物による二酸化炭素吸収量の推定です。

植生純一次生産量 (NPP)

実際に何をやるかというところ、植生純一次生産量 (NPP) を推定します (図表1)。これは二酸化炭素を植物がどれくらい吸収しているかという量です。総一次生産量 (GPP) とは植物が光合成によって体内に吸収して固定した炭素量で、純一次生産量 (NPP) は総一次生産量から植物自身の呼吸量 (Respiration) を引いたものです。われわれも植物も生きていますから、生きていくためのエネルギーが必要です。そのエネルギーは呼吸によって得るわけですが、呼吸の単位は消費炭素量でも示せます。

炭素を固定したら、それが体にくっついて成長していくわけです。われわれの体もほとんど炭水化物です。炭素と水でできています。そういう意味で、植物は自分自身の体を生産しているということです。吸収したもののうち、ある部分はエネルギー生産のために燃やして、また

植生純一次生産量(NPP)

- NPP (Net Primary Production)=
総一次生産量 - 植物自身の呼吸量
- 総一次生産量(Gross Primary Production)
植物が光合成により体内に固定した炭素量
- 呼吸量(respiration)
呼吸により失われた炭素

08/12/14 RCWOB公開セミナー 4

図表 1

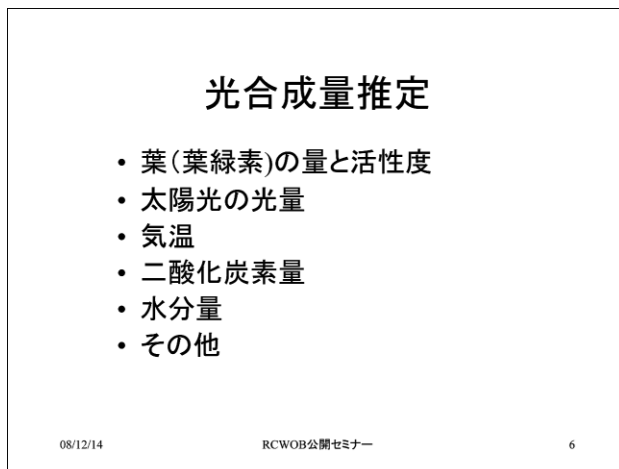
体外に出している。それがマイナスになります。いわば減価償却ですね。吸収したのから燃やして出した分を引いたものが **NPP** と呼ばれるもので、それを 1 年間測ってやれば、それが 1 年間で体の中に固定された炭素の量だといえるわけです。

NPP はどのように測るかという、一つは実測調査 (inventory 調査) をするわけですが、木の場合は木の高さと太さです。葉っぱも落ちますから、その量も測らなければいけません。草であればもっと簡単です。一年生の草だったら、その年に生えて出てきたものを全部、根っこまで取って測ってやれば、それが 1 年間で吸収した炭素の量です。もちろん水が入っていますから、それを後で全部飛ばすわけですがけれども、そのようにして推定できます。ただ、これは測れば正確なのですが、ものすごく手間がかかります。行ってそこで取らなくてはいけませんし、木だったら 1 年ではそれほど精度が出ませんから、何年も測って平均しないといけませんし、1 本だけではなく何本かやらないといけません。地上で見たら 1 点しか測れませんので、結構大変です。

そこで、衛星データから推定してやろうということです。衛星データですから、地球上の広い範囲が測れます。ただ、上から地面の色を見ているだけですから、いろいろな仮定が入っています。そこで、その仮定が合っているかどうかを実測調査と照らし合わせていって、それでようやく NPP が推定できるということです。

1. 光合成量推定

実測調査は実際に測るのでいいのですが、衛星データからの推定はいろいろな仮定が入ります。どんなことを仮定してやっていかないといいかないかといいますと、まずは光合成です (図表 2)。光合成で何が問題になってくるかという、まずは葉っぱです。葉緑素の量と



図表 2

活性度です。それから、光の量も重要です。光がなければ光合成はしない。また、光合成は化学反応ですから気温も関係してきますし、二酸化炭素の量や水分量、その他いろいろなものが関係してきます。

①二酸化炭素量、水分量、その他

ただ、実際に測れるかといったいろいろな問題があって、二酸化炭素量と水分量とその他は、考慮しません。一定であると考えます。しかし、本当はこれらは一定ではありません。二酸化炭素濃度ですがこの部屋でこれくらいの人数だったらちょっと高くなる程度ですけれども、人がいっぱいいれば、多分 1000 ppm くらいにはすぐになります。つまり、すぐに変化するわけです。風が吹けばたまっていた二酸化炭素は全部吹き飛んでしまうわけです。ですから、平均値はどんどん変わるし、測定するのも結構難しいので、考慮しない、一定であると考えてしまいます。水分量も、干ばつなどがありますからこれも結構効くのですけれども、実際に細かい地域で水分量がどれだけ地面に入っているかということのを衛星で測るのはすごく大変なので、これもしょうがない、考慮しないということです。

②気温

気温はもちろん依存性はあるのですけれども、大体こういう研究では、月平均気温が 10℃ 以下なら光合成はしない、10℃ 以上なら一定であると考えるのが普通ですから、そのようにします。10℃ 以下が **GPP** はゼロ。呼吸量も気温に依存します。こんな考え方をします。

この気温をどう測るか。地表面温度なら衛星でも測れるのですけれども、地表面温度と気温というのはまた違います。結局、今回われわれは、**ECMWF** という組織が地上観測データをもとに、空間分解能 0.5° メッシュの上での温度を再計算して配っているのです。気温はそれを使

いました。

③太陽光の光量

太陽の光も、全天日射量というのがあります。これは、ある点に天空全部から入ってくる光で、もう一つ言うと、入射の角度だけではなく、波長も 370 nm くらいから 2500 nm という近赤外まで全部含めて測った光のエネルギー量のデータがあります。地上観測地はいろいろありますが、モデルによってメッシュデータに再計算したものが配られているので、これを使います (NCEP 再解析データ)。ただ、植物が実際に光合成に使う光の波長は決まっています、400~700 nm です。これは可視光です。可視光だけが光合成に使える光です。それを PAR (光合成有効放射) と略します。PAR も実測するのですが、全天日射量と PAR の波長だけの光を同時に測って比べてやると PAR は全天日射量の 40% から 50% くらいです。今回は 0.48 という値を使って、全天日射量の再計算されたデータから PAR の量を計算しています。

④葉緑素の量と活性度

これで気温と光量が決まったので、あとは葉緑素の量と活性度です。これは衛星データから推測します。光合成量は、PAR と葉緑素の量と活性の関数と考えます。気温に対する光合成の依存性は 10℃ 以上だったら一定と仮定してしまいます。

衛星画像データは、地上をある大きさの画素に区切ります。ALOS 衛星の PRISM の分解能は 2 m くらいです。ここで使うデータでは 1 km 単位の画素に区切って、各画素で複数の波長領域の光の強度を測定します。普通三つの光の波長があれば色は再現できるのですが、六つとか七つ測るわけです。ここでわれわれが使う測定の波長は 370 nm~5 μm 位です。太陽光が地面に反射して、それが返ってくるのが大体これくらいの波長だからです。これで地上被覆物の状態が分かります。5 μm より長い波長は熱放射といいまして、遠赤外です。これを測ると、そこでの地表面温度が分かります。

われわれは地上被覆物の状態を見たいので、370 nm から 2.5 μm 位までの波長を測り、その状態を見ようというわけです。

2. パターン展開法 (PDM と UPDM)

そのときに、われわれのグループはパターン展開法 (PDM) というものを使っています。地上の被覆物から反射したスペクトルは、三つのスペクトルパターンの線形和でほとんど再現できます。4 番目があったら植物の枯れた状態が表現できますので 4 番目を入れてもいいのですが、三つとか四つでスペクトルパターンが再現できます。この線形和の係数を、その画素の代表値として取ってやろうと。式をうまく考えてやると、測定波長の領域やその数にか

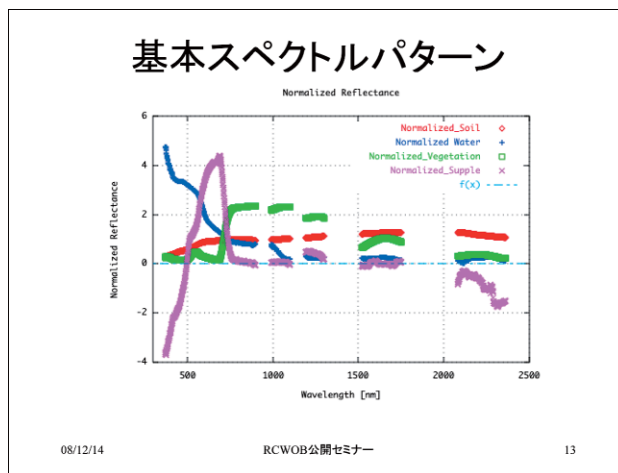
かわらず展開係数は同じ値を取る。ということは、センサを変えても同じ画素で同じ時期に取ったデータであれば、同じ係数が出てくるはずだというわけです。それを使ってやろうというのがこのパターン展開法です。

基本スペクトルパターン

三つのスペクトルパターンは、それなりに意味があるのでお見せします。図表3は四つ書いてあるのですが、横軸は波長で、短い370 nm から長い2500 nm まで。青で短い波長からずっと下がっていつているのが水のスペクトルです。これは青いところが反射率が高くて、近赤外のあたりになると反射しなくなる。ですから、水は上から見たら青く見えます。

次に、緑色のややこしい波形が植物です。500 nm くらいのところが緑です。それより波長の長いこのあたりの反射率が高くなっているのは近赤外です。植物というのは、近赤外で反射率がどんと上がっているのです。ということは、光合成に有効な部分である可視光は、結構吸収している。吸収していないと使えないですから、吸収率が上がって、すなわち反射率が下がっています。もう一つ、赤が土壌です。土壌は青いところで反射率が低くて、赤くなったら上がるので、上から見たら赤く見えるということです。

ピンクはちょっと特殊で、枯れ葉の状態を表すスペクトルパターンです。



図表3


UPDM（ユニバーサルパターン展開法）

これらの線形和で元の画素のスペクトルを表しています。この線形和の三つの係数で、それぞれの画素の特徴を表そうというわけです（図表4）。

われわれは、もう一つ植物の活性度を見たいので、図表5のように展開係数を線形で組み合わせて、それを表すMVIUPD（植生係数）を考えました。植生の被覆率というのは画素の中

UPDM

- 基本スペクトルパターン P_w, P_v, P_s



- パターン展開係数 $u_{C_w}, u_{C_v}, u_{C_s}$
- 各画素のスペクトル $A(i)$

$$A(i) = \{u_{C_w} \cdot P_w(i) + u_{C_v} \cdot P_v(i) + u_{C_s} \cdot P_s(i)\} + R(i)$$

- $R(i)$ は残差

08/12/14 RCWOB公開セミナー 14

図表 4

MVIUPD(植生係数)

(Modified Vegetation Index based on Universal Pattern Decomposition)

$$MVIUPD = \frac{u_{C_v} - u_{C_w} - 0.2 \times u_{C_s} - u_{C_4}}{u_{C_w} + u_{C_v} + u_{C_s}}$$

- 植生の被覆率とMVIUPDの値は線形関係
- 植生の光合成の活性度と近似できるよう定義
- 値はほぼ0～1の間で植生が活発なほど大きくなる

08/12/14 RCWOB公開セミナー 15

図表 5

でどれだけ緑が覆っているかで、そういう意味では葉緑素の量と関係しているわけですが、この植生の被覆率と MVIUPD は線形関係にあります。植生の光合成の活性度とも線形関係にできるだけあるように、活性度と近似できるように定義しています。値は 0～1 程度になって、植物の活性が高くなるほど、この値は大きくなります。

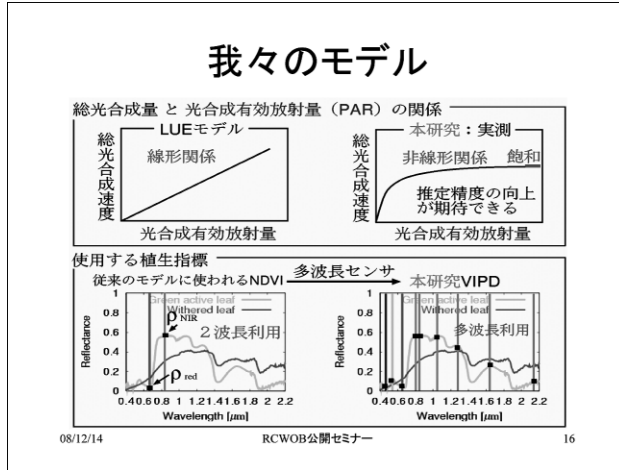
司会：2 番目の「植生の光合成の活性度と近似できるように定義する」と書いてありますが、それは？

醍醐元正：「活性度と見られるように近似できる」というのは、分かりにくい日本語ですね。

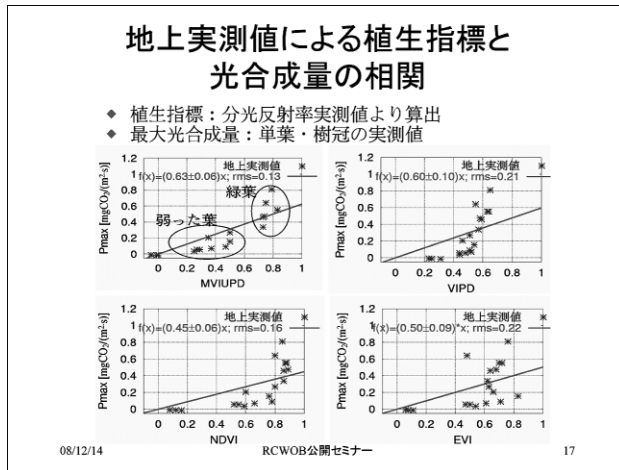
司会：それは何か実証的のデータに基づいて、そういうものを決められたわけですか。

醍醐元正：そうです。

司会：了解です。



図表 6



図表 7

醍醐元正：図表 6 がわれわれのモデルです。光合成の速度は光の放射量とどんな関係があるかという、当然、放射がゼロであれば光合成はゼロですけれども、放射が上がっていくと、光合成の量は急に上がって、ある程度以上光が増えても、サチってしまいます。

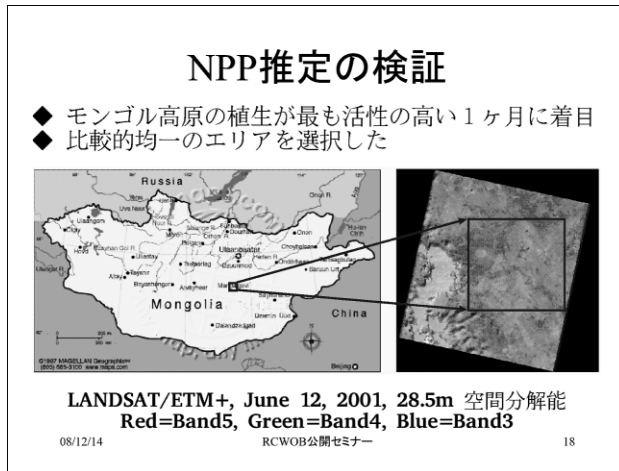
サチってしまう辺りの量 Pmax と、MVIUPD ができるだけ比例関係があるようにと考えてやっているのが図表 7、地上実測値による植生指標と光合成量の相関です。横軸が MVIUPD の値で、縦軸が Pmax です。あまり線形に見えないかもしれませんが、ほかの VIPD、NDVI、EVI などよりはましだろうと。NDVI が一番よく使われている植生指数で、みんな植生指数で VI (Vegetable Index) ですけれども、これらよりはましだろうと思っているのです。線形に作っておいた方が後々計算がやりやすいという面もあるのでそうしているので、もともと線形ではないですから確かに難しいのですが、どうやってもこうなるので仕方がないので

す。

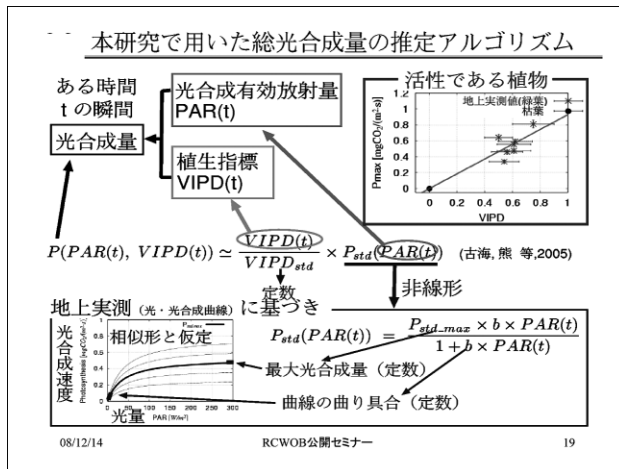
3. NPP 推定の検証

次に、実測したものと衛星画像で測ったものを合わせようというので、図表8はモンゴルです。

今、吉野の山で実際に樹高などを測ってやっているのですけれども、時間がかかります。こちらは1回だけですけれども、草ですから、測りやすい。これは2001年の測定です。モンゴルの草地で、LANDSATのETMという、地上分解能28.5mで6波長測った衛星データを使って検証しました。図表9のような線形関係があって、できるだけ合うように、比例係数を計



図表 8



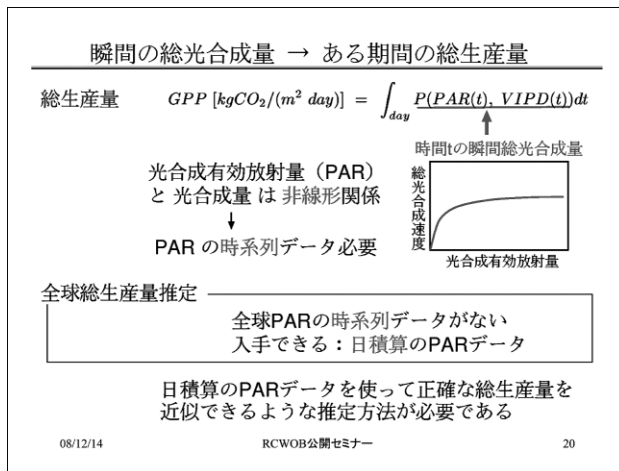
図表 9

算をします。

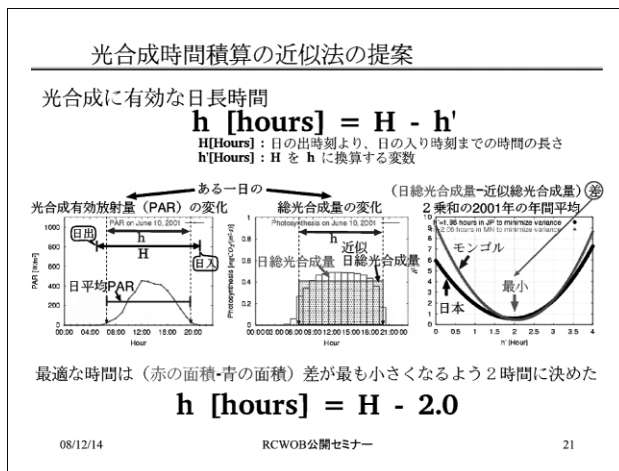
もう一つ、図表 10 では光合成有効放射量と光合成量は非線形です。しかし一方で、全天日射量は1日の積算値で、各時間の光の強度は出ていないのです。すると、非線形なところで光の量が出ないので、その辺はちょっと工夫しなければいけません。そこで積分の期間を考えて、日の出から日の入りまでの時間の-2時間くらいで近似して計算してやると実測値と一番合うということが、実際に測定したら分かりました(図表 11)。

実際の検証は、モンゴルで4点、草の成長量を測りました(図表 12)。家畜がいますので、食われないようにかごで地面を覆って、1カ月の成長量を測りました。そうすると、1m²当たり1カ月で約50gのCO₂を吸収しているということが分かりました。これが実測です。

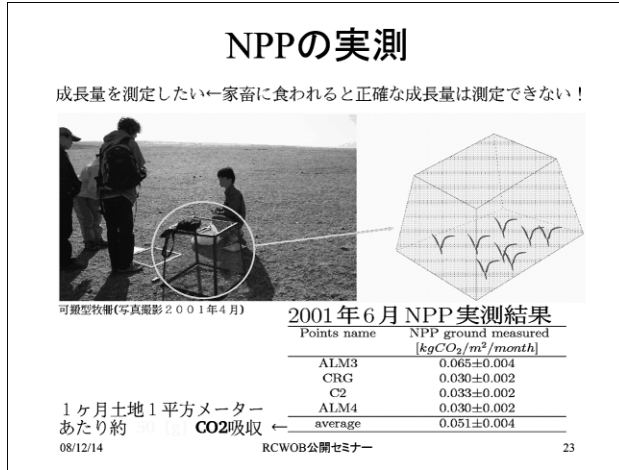
それから、先ほどの4点の地点でのNPPの推定値を見てみると、50gに近いのです(図表



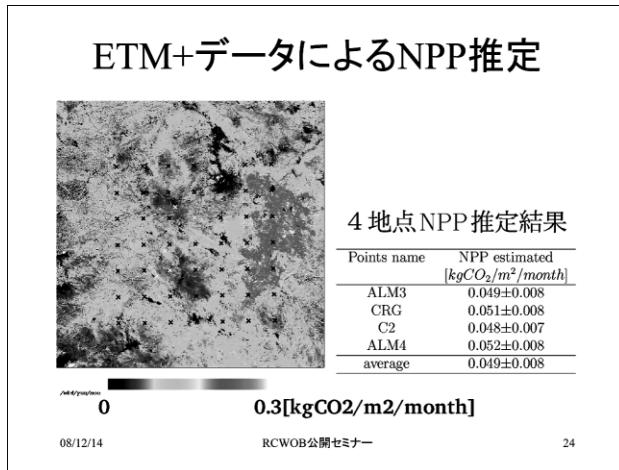
図表 10



図表 11



図表 12



図表 13

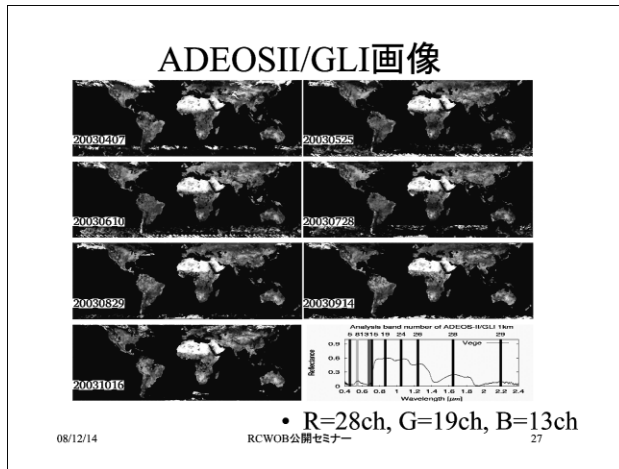
13)。

四つを平均して見てやると、推定は0.049です。これは単位はキログラムですから49g。実測値が51gくらいで、誤差の範囲で合うようになっています。このようにうまく係数が計算できました。このデータは、LANDSAT衛星でやった分解能が28.5mのものですから、これで地球全域を扱おうとするものすごい量になり、とても扱えないのです。ですから、われわれが実際に使ったのはADEOS-II/GLIという日本が打ち上げた衛星です。これは覚えておられると思いますけれども、2002年12月に打ち上げられて、データを取り始めたのが2003年の2月か3月くらいですが、10月になったら太陽電池の異常で止まってしまったのです。ですから、1年ないのでちょっと苦しいところなのですが、日本の衛星だし、ただでデータももらえるし、地上分解能が1kmなのです。ですから、地球全体を解析するにはちょうど

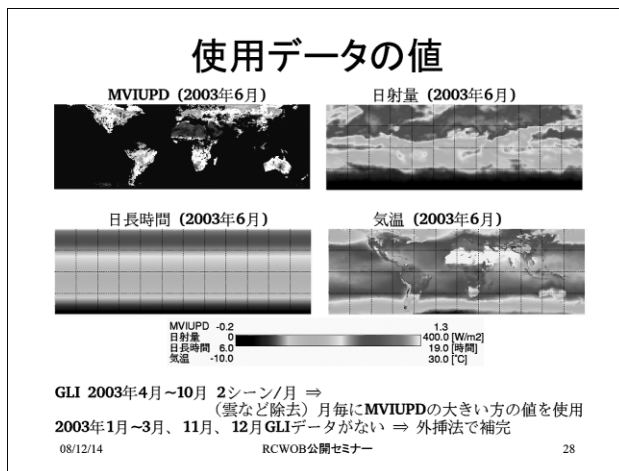
いい分解能です。観測波長は36バンドあるのですが、陸上と海上ではセンサが違って、海上だと反射率が低いのでそれは陸上では使えないため、実際に陸上で使えるのは9バンドです。分解能は1kmで4月から10月まで、一月に2シーン使えるという状況でやりますと、全体で600GBくらいになります。結構な量です。これを扱うのは大変なのですが、これくらいなら何とかできるということで、これを使っています。

ADEOS II/GLI 画像は、図表14のような感じです。2003年4月から10月まで、こんなふうになっています。9バンドあるのですが、これだけの波長で反射率を測っています。これが実際の衛星画像です。

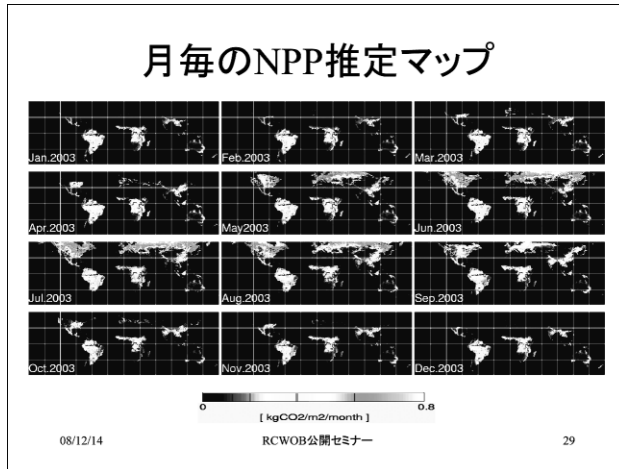
そこで、例えばMVIUPDを計算すると、図表15左上のようになります。日射量はNCEPの配布データで、6月は図表15右上のような感じです。気温はECMWFの配布データです。



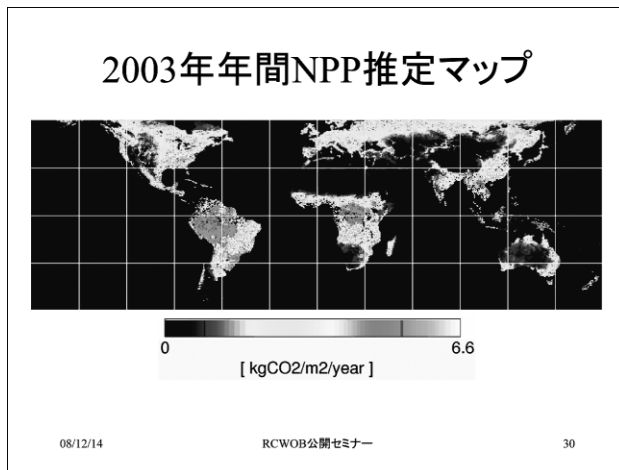
図表14



図表15



図表 16



図表 17

日長時間は経度緯度の計算で出せます。

このようなデータを使って NPP を計算してやりますと、図表 16 のようになります。これで 12 月まで大体計算して出すことができます。

これを全部足し合わせてやると、NPP の年間推定マップができます（図表 17）。

これは単位は kgCO₂/m²/year で、真っ白なところは 6.6 kgCO₂ です。真っ白はあまりありません。日本は真ん中くらいの感じです。世界中ではこのように分布しています。

質問者：ちょっと見失ってしまったのですがけれども、先ほど、モンゴルで草の何かを測っていらっやいましたよね。あれと、この数値とはどう関係しているのですか。

醍醐元正：これは基本的には同じです。ただ、これは年毎の二酸化炭素吸収量でモンゴルのデータは月毎です。

質問者：世界の各地で測るのではなくて、そこだけを測ればよろしいのですか。

醍醐元正：いや、それは良くないけれども、そんなに測れないではないですか（笑）。それは測りたいですよ。

質問者：モンゴルを選んだ理由は何かあるのですか。

醍醐元正：それは GLI のプロジェクトでお金が出て、水分量を測る部隊が出たので、一緒に奈良女のグループがついて行ったのです。

質問者：先ほど奈良の吉野の方でもやっていると？

醍醐元正：それは今やっています。

質問者：そのデータと、モンゴルのデータを取ることで、また違いが出てくるのですか。

醍醐元正：それはあまり変わらないと思います。変わったら、また考えないといけないですけども、ただ、森林の話はまだ結果が出ていないのです。

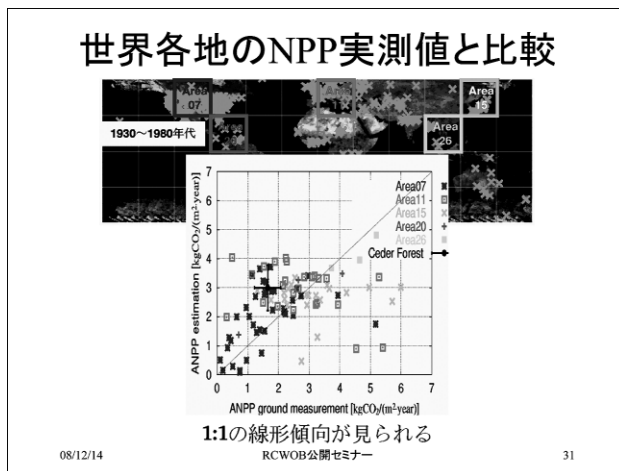
質問者：分かりました。

醍醐元正：まだ2~3年くらいしか測っていないのかな。

司会：続いて同じ系統の質問なのですが、モンゴルで測ったのは原っぱですよ。それに基づいて作られた定義を世界中に当てはめておられて、それは誤差が出ると思うのですけれども、誤差は出ないのですか。

醍醐元正：それはこれからやっていかないとしょうがないです。まだ森林はやっていません。ほかのところでもやっているかと。後で話をするのですが、実は、耕作地は全然違うのです。稲は倍近い。だから、そこは当然考慮に入っていますけれども、森林でどれくらい違うか等々は、まだ入っていません。

司会：今、アマゾンの森林で非常に量が多いと推定されても、草原に基づいてやっておられるのですよね。



図表 18

醍醐元正：そういう話です（笑）。アマゾンも行ってみたいですね（笑）。

先ほどの話で、実測値と比較しろということですが、今も言ったように、われわれのグループでは何カ所もできません。そこで、昔実測したデータがあるのです。1930年から1980年代くらいまでは、各地でNPPが実測されているのです。時代が違うので100%合っているわけではないのですが、その地点で重ねてみると（図表18）、線形傾向が見えるなど。かなり広がっているので「本当かな」というところがありますし、時代も違いますから何ともいえませんが、まあ線形傾向はあると。もっと調べないといけないのは確かです。

2003年年間NPP推定結果

ほかの研究と比較するという手もあるのですが、見ただけでは分からないので、実際の数値を見てみます。衛星データですから、大気の外900kmくらいの高さから見ていて、太陽光が入ってくる時に、大気がありますから、そこで反射などを受けます。周りからの光なども入ってきますし、大気によるかく乱効果がありますから、それをわれわれが簡単に補正してやった結果が66.5 PgC/yearです。JAXAがもう少し精度良く大気を補正したデータを提供してくれていますので、そういうデータを使って同じ計算式で計算してやると、59.5 PgC/yearになります。ほかと比べてみますと、Cramerが1999年に集めた17種モデルの推定結果が39.9～80.5 PgC/year。IPCCに採用されたNPPの推定結果は59.9と62.6で、われわれの結果はまあまあ合っているなということなのです。

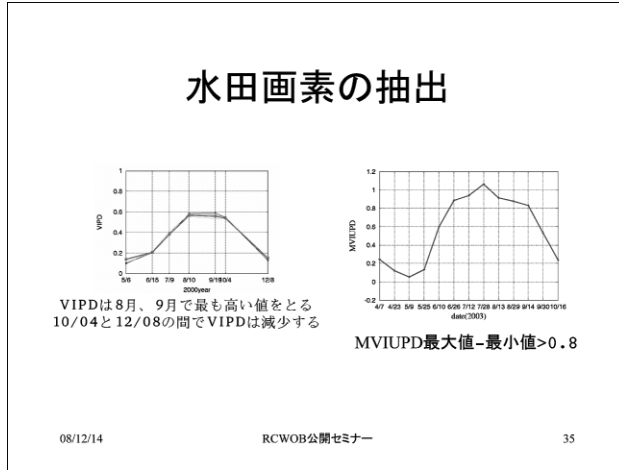
水稻

これから誤差の話です。稲のNPPを収穫量から概算して出してみました。実際ここでの話は、われわれはほとんど実測していません。この結果を見てから自分達で実測したのですけれども、まだ結果が出ていません。ここで使っているのは収穫量と稲の全重量との関係です。米粒に対する全体の重さの比を計算して出しているところがありますので、そういうものを使ってNPPを計算してやると、草地と耕作地とでは成長効率が違うということが分かってきました。

衛星データから水田のNPPを出すには、水田画素を衛星データで抽出しないとけません（図表19）。どうするかといいますと、水田は5月に田植えがあって、10月に稲刈りがありますから、5月くらいまでは植生指数が低くて、稲が植えられるとそこから植生指数が上がり、穂が実って9月くらいに稲刈りがあったら、どんと下がる。このような変化があるような場所を取っていきます。

司会：刈り取ったら緑は何もないのに、グラフで見ると11月でもまだグラフは上の方にあります。何でまだ上の方にいるのですか。

醍醐元正：いや、10月はじめのここと12月はじめのこことしか測っていないのです。こことこ



図表 19



図表 20

こしか測っていないくて、その間は線で結んでいるだけです。9月30日辺りはちょっと下がっていますが、測っていないこの辺はどうなのかなという感じです(笑)。

これで水田地を引っ張り出していきます。LANDSATとADEOS-IIという衛星を使うのですが、LANDSATは分解能が28.5mですから、奈良県でも使えるので、奈良県でやってみました。そうすると、推定率48%でした。推定率というのは、衛星画像から計算して出したNPPが723で、収穫量から計算したのが1500ですから、実際は倍以上ですね。奈良ではあまり広い水田はないので、ADEOS II/GLIは分解能1kmですから、山形県水田市、秋田県大潟村、新潟県越後平野、富山県富山平野など、水田がどっと広がっているようなところだけ探してきて、それで推定値と実測値を比べると63%とか70%、平均推定率は約60%でした。ですから、水田のような耕作地を考えると、少しNPPは高くなるということまで考慮します。

日本の年間 NPP 推定を実際にやってみると、図表 20 のように、ほかの研究よりも、ちょっとわれわれの方が NPP が高くなっています。これが一つの補正です。

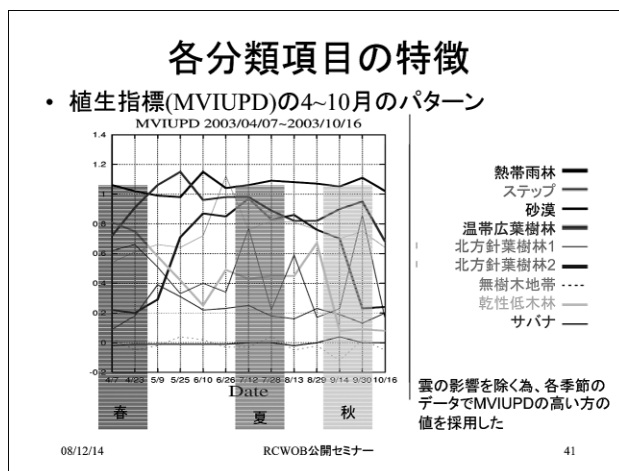
土地被覆分類

もう一つ補正があって、地面のでこぼこの状況によって GLI は推定結果が変わります。ですから土地被覆分類、すなわち森林や農地など、地表の状態を把握していないと補正をかけられないので、衛星データを使って土地被覆分類をします。どのように分類するか、分類項目を考えなければいけないということで、ケッペンの気候区分を参考にして、植生を 8 項目に分けました。もう一つ、そのほかに耕作地も分類するようにここではしました。この解析では GLI を用いて分類しないといけませんので、広大な耕作地がある場所でまずはキャリブレーションしようというので、アメリカの乾田、タイの水田、アメリカやフランスの小麦畑みたいなところを引っ張り出してきて、それで分類できるように考えました。

基本的な植生の分類項目は 8、それと耕作地に分けました（図表 21）。このそれぞれの場所、それらしいところを取ってきて、その 4 月から 10 月までの植生指数の変化を見て、変化で分類します。

その分類の条件は、図表 22 です。MVIUPD（植生指数）と、展開係数 u_{Cv} とか u_{Cs} の大小の関係で分類しました。衛星データだけから地上を分類しています。

分類した結果が図表 23 です。ただ、耕作地は分かりません。そこで、耕作地は UPDM (C_s, C_v) の最大値、最小値の差とその間の時間を考慮して分類しました。分類した結果が、図表 24 です。黄緑のところは耕作地です。ただ、これは数年前のもので、陸地に対する農地の割合が 3% と、少し低いです。このときはアメリカの乾田などだけで分類条件を決めていますので、条件が厳しいのです。ほかの研究だと 10% 近くあります。もう少し調べて分類条件



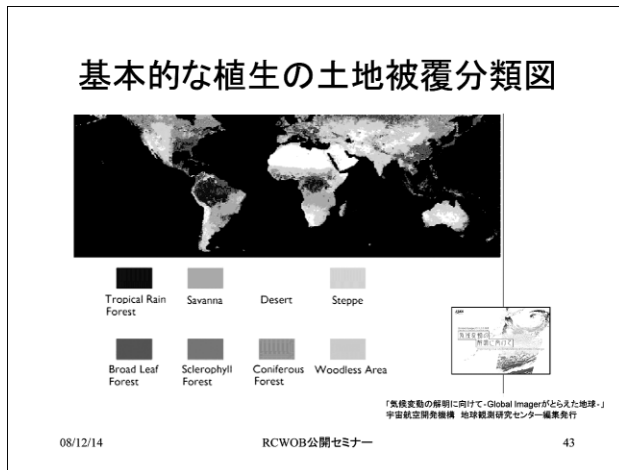
図表 21

基本的な植生の分類条件

春		夏		秋	分類項目
MVIUPD<0.15	uCy-uCw>=0.03	MVIUPD<0.15	MVIUPD<0.15	MVIUPD<0.15	砂漠
					無樹木地帯
MVIUPD>=0.9		MVIUPD>=0.9			熱帯雨林
uCy>=uCs		MVIUPD>=0.65	uCy<0.1		針葉樹林
					広葉樹林
			MVIUPD>=0.1	サバナ	
uCy<uCs					低木林
		MVIUPD>=0.8			ステップ
					針葉樹林

08/12/14
RCWOB公開セミナー
42

図表 22



図表 23



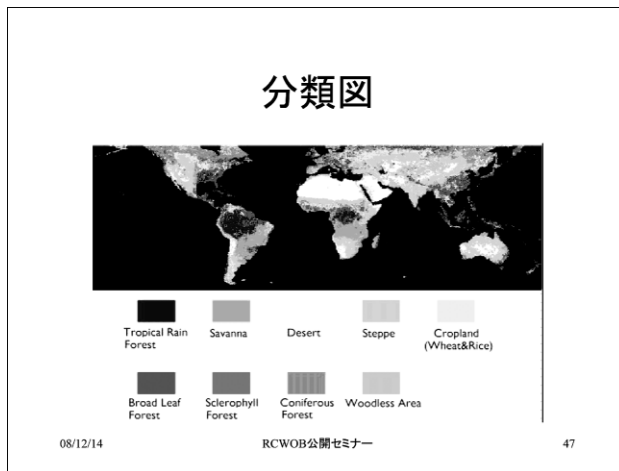
図表 24

を変えてやると、今はもう少し高くなって10% 近くになっているはずですが。

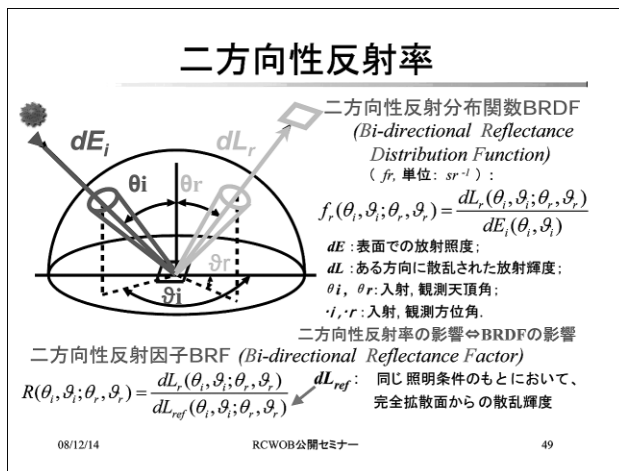
これを全部重ねてやると、図表 25 のように分類されます。

なぜ地表を分類したいか、その分類条件を決めないといけないかという点、ADEOS 衛星の GLI センサは、広い角度を見るようになってきているので、ある地域を真下で見える場合もあるし、斜め 40 度くらいのところから見る場合もある。ですから、観測角が可変で、観測視野も広い。ということは、見る角度によって反射率の違いがあって、それを考慮しなくてはなりません。しかもそれは当然地面の状態によって変わるわけで、それを見たいので土地被覆の分類をしたということです。

その角度により違うことを、この分野では二方向性反射率といいます。図表 26 は一般化したものですが、式は放っかけておいて、この絵だけ見てもらったらこの話の大略が解ると思いま



図表 25



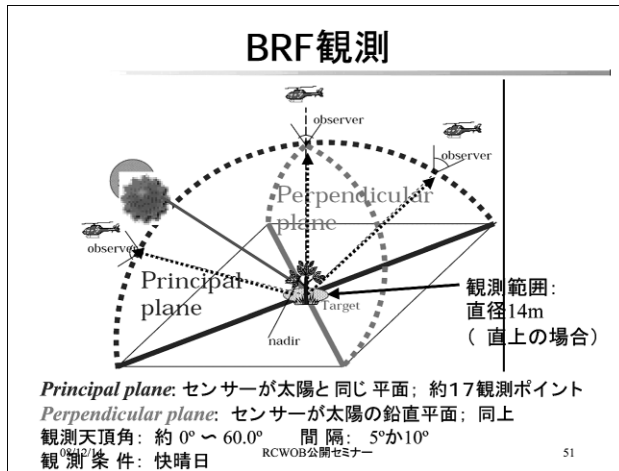
図表 26

す。太陽光の入射方向とセンサの見る方向、この二つの関数で、三次元でちょっと表現しにくいのですが、こういう角度の違いによって反射率が変わります。

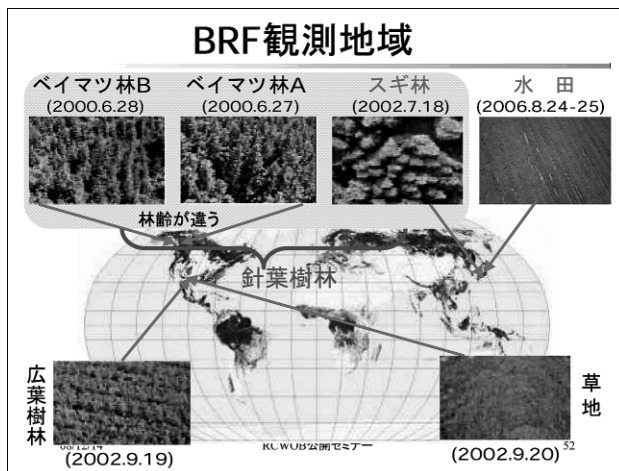
NPP 推定における二方向性反射率の評価

見る方向による反射率の変化を測らなくては行けないのですが、千葉大学のリモートセンシングセンターが、無人ヘリコプターを使って BRDF (二方向性反射率) をずっと観測しています。どういうものを観測するか (図表 27)。一つは太陽光が入ってきたら、それに平行な面にヘリコプターの観測角を変えて見る。もう一つは、太陽光に直角な面で見ると。この二つの面からの角度の違いを見ます。

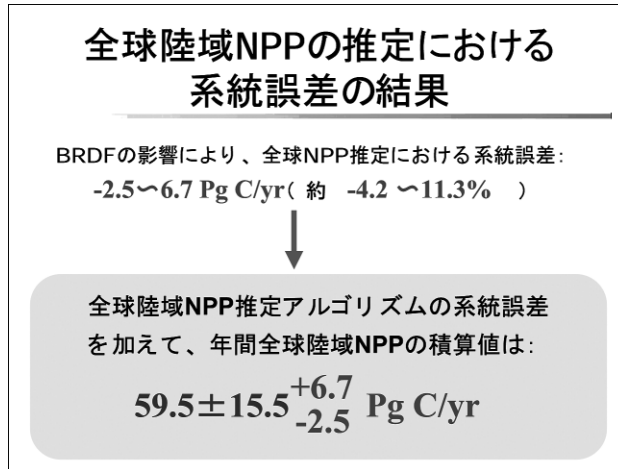
それを、ベイマツ林 (A, B)、スギ林、水田、草地、広葉樹林の六つの地面の種類に対して



図表 27



図表 28



図表 29

やっています（図表 28）。われわれが実際に千葉大学と共同でやったのは水田とスギ林で、ほかは千葉大学の人のデータを使わせてもらいました。

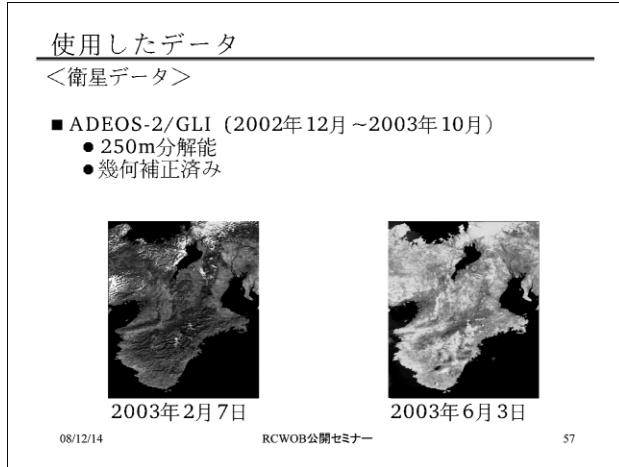
そういうもので分類項目、植生種類、全球 NPP 総量、NPP 推定における BRDF の影響、NPP の誤差を計算して、全部足しますと、二方向性反射率の影響によって全球 NPP における系統誤差が-2.5 から 6.7 Pg くらい変わるだろうと。ですから、全体として、われわれの推定値、年間全球の NPP は 59.5 ± 15.5 PgC/year ですが、-2.5 から +6.7 PgC/year 以内だろうということです（図表 29）。

人間活動が物質・エネルギー循環に与える影響の基礎研究

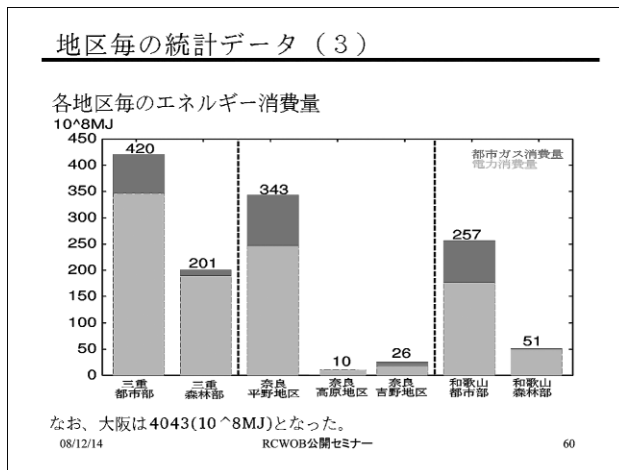
今までの話は、植物がどれくらい炭酸ガスを吸収しているかということでしたが、人間の方がどれくらい出しているのかも概算を出してみようということも今やっています。三重と奈良と和歌山と大阪、四つの県で統計データを使って、人間が出している二酸化炭素の量を計算してみました。

それぞれを都市部と森林部の二つに分けて、三重県は都市部と森林部、奈良は平野と高原と吉野地域で、平野の部分だけは都市部で、残りは森林と考えています。大阪は全部都市部と考えて、統計データと衛星データを用いて計算しました。衛星データは ADEOS-II / GLI の 250 m の分解能の衛星データを使っています（図表 30）。

統計データは、人口と電力販売量と都市ガスの販売量です。これは苦勞して電力会社とガス会社から 2003 年だけですが、データをもらってきて、それを使っています。エネルギーごとに単位が異なるので、エネルギー換算係数でメガジュール単位に換算して全部統一しています。ほかにガソリンや石油などもあるのでありますが、これは取れていません。これで計算した各地区のエネルギー消費量が図表 31 です。これは都市ガスと電力ですけれども、左側の三



図表 30

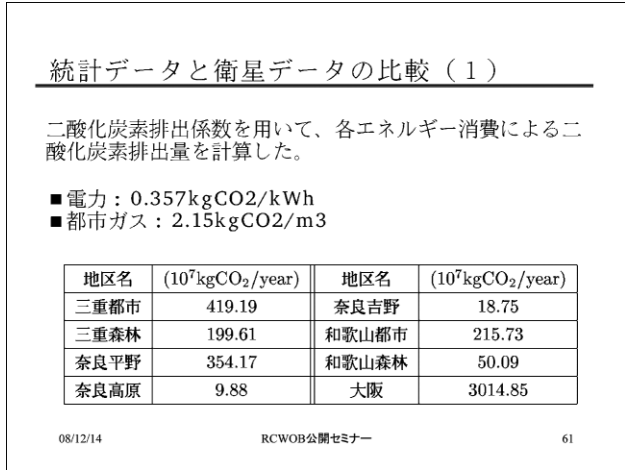


図表 31

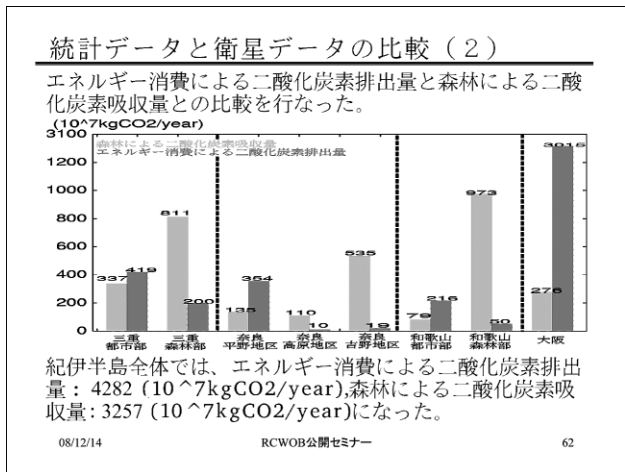
重の都市部は400とかそれくらいです。当然のことながら森林部はすごく低いです。大阪はここには書いてありませんが、4043ですから、三重都市部の10倍くらいあります。二酸化炭素の排出量はこのように換算して計算すると、図表32になります。大阪が3000で抜群です。

グラフで表すと、図表33です。緑が森林による二酸化炭素吸収量、紫がエネルギー消費による二酸化炭素排出量です。これは全部網羅しているわけではないのですが、これで、エネルギー消費による二酸化炭素排出量は4282で、森林による二酸化炭素吸収量は紀伊半島全体では3257、エネルギー消費による二酸化炭素排出量の方が大きくなります。

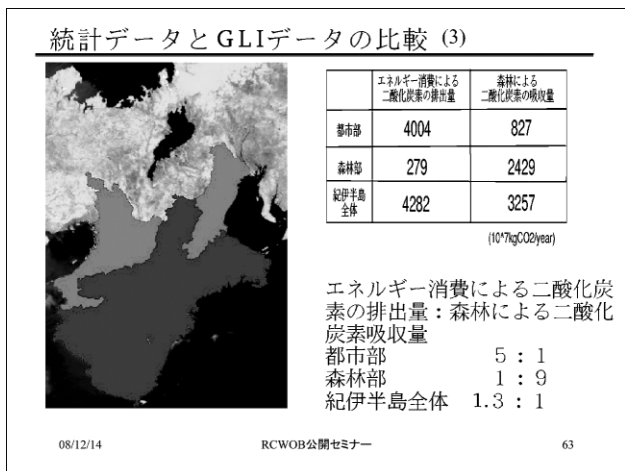
森林部だと、当然のことながら森林による吸収量が10倍くらいあるのですけれども、都市部の方で5倍くらいエネルギー消費の方が多いので、紀伊半島全体としては1000×10⁷kgCO₂くらい大きくなります(図表34)。



図表 32



図表 33



図表 34

というところで、私の話は終わりです。どうもありがとうございました（拍手）。

質疑応答

司会：測定されたところは人口が結構多い地域ですよ。例えば、北海道や中部地方、四国、九州などを見ると、これほど人口が多くないと思います。ですから、都合よく二酸化炭素の排出量が・・・。

醍醐元正：そういう意味では大阪が入っていることが問題かもしれませんが、大阪以外だったら多分ほかとあまり変わらないでしょうね。

司会：どうせだったら日本全体で、その値を知りたかったなと思って、そんなのは誰かやっていますか。

醍醐元正：ただ、これは関西電力とか大阪ガスだからもらえるので、これを例えば北海道へ行って、北海道のデータをもらえないかと言っても、すんなりくれるかどうか分からないですね。

司会：もう一つは、よく知りませんが、ガソリンが入ってないと、かなりきついような気がします。

醍醐元正：入れたいのですけれども、メッシュデータがないし、それに値段のデータはあっても、量が。換算して一度やってみてもいいのですけれども、年度ごとに値段が変わるし、その辺が難しいところです。

質問者：森林と草原などで、二酸化炭素の吸収量はどのくらい違うのですか。

醍醐元正：ここでは仮定としては変わらないとしてやっています。ただ、今測っているのは森林の方が多少多めかなと。ただ、森林も深いけれども、光が実際に入ってくるのは表面だけなのです。だから、それほど大きくなりたろうとも思われますが、それがちょっと分からない。今やっているところです。

質問者：そういう意味では水田の方が？

醍醐元正：そうですね。農業をしている人などは、明らかに「それは当然だな」という顔をしていました。肥料をやると、当然のことながら成長効率が上がるようです。これは田んぼですが、畑なども同じになるのではないかと思います。それはやっていないですけれども。

質問者：世界全体で見たときに、二酸化炭素の排出量と吸収量で、どれくらいの差があるということが分かるような文献はあるのですか。

醍醐元正：あるのでしょうか。私はちょっと知りません。

質問者：明らかに吸収量の方が足りないという状況ですか。

醍醐元正：今ですか。ごめんなさい。知りません。

司会：足りないからグローバルウォーミングになっているのではないのですか。

醍醐元正：それはそうですが、ただ実際にどこまで測っているかというのは、私は分かりません。

司会：ほかに、学生さんは何か質問はありませんか。

醍醐元正：あまりに分野が違っているから分かりにくいですね（笑）。

司会：ありがとうございました。