

地域規模の二酸化炭素排出・吸収量評価方法の開発

独立行政法人国立環境研究所

地球環境研究センター

藤沼康実・犬飼 孔・井上 元

(研究委託先)

北海道大学北方生物圏フィールド科学センター 笹賀一郎・高木健太郎・小池孝良

平成 13～15 年度合計予算額 81,221 千円

(うち、平成 15 年度当初予算額 25,761 千円)

[要旨]

二酸化炭素の排出・吸収量の評価手法として、従来から行われてきた排出源・吸収源の原単位を積み上げる手法に代わって、実際の大気観測からの直接的アプローチによる評価手法の確立が望まれている。

本研究では、地域規模の二酸化炭素排出・吸収量の評価を試みるケーススタディとして、森林や都市が 100km 規模にパッチ状に存在し、かつ、南北が海であるため大気の入出の差が観測しやすい北海道西部（石狩低地帯）を対象にして、二酸化炭素濃度の立体分布を観測するためのキャンペーン観測と統計的処理が可能な長期観測との組み合わせ観測データを入力数値とした大気輸送モデルを用いて、当該地域における二酸化炭素の排出・吸収量を推定し、人為発生源のインベントリデータ・土地利用データ・森林統計データ・森林吸収モデルなどの原単位を積み上げる手法によるシミュレーション結果と比較するものである。

まず、観測対象地域の二酸化炭素発生源のインベントリデータ、吸収源としての森林・農地に係わるセンサデータを収集するとともに、時空間的なデータ整理手法を確立した。また、同時に定点観測体制の整備を行うとともに、全データを地理情報化した。次に、大気輸送交換モデルにこれらの地理情報を入れることにより、集中観測の条件設定を行い、その条件に従ってキャンペーン観測を実施した。キャンペーン観測としては、航空機による二酸化炭素分布調査、パイロットバルーン及びドップラーソーダによる上空大気の風向風速の測定を実施し、大気輸送交換モデルによる推定値と比較、検討を行った。

[キーワード] 京都議定書、二酸化炭素、吸収源/排出源、地域規模、炭素循環

1. はじめに

二酸化炭素の排出・吸収量を評価する手法として、従来から行われてきた排出源・吸収源の原単位を積み上げる手法では、数少ないデータから全体を推定するため、誤差が極めて大きい。また、クロスチェックが行われていないために、現実と大きくずれている可能性が否定できない。このため現況を反映する大気観測からの直接的アプローチによる評価手法の確立が望まれている。

この大気中への総排出/吸収量を直接観測することは、森林吸収モデルなどのプロセス研究に基づくモデルの介在や、多様性に富む排出推定を必要とせず、問題の本質を直接に把握することになる。また、原単位積み上げ方式の結果と大きな差異が生じた場合、その原因を双方に求めた

究明が必要であるが、この誤差の原因究明は、新たな対策などを生み出す可能性を秘めている。

また、このことは、バックグラウンド大気の温室効果ガスモニタリングの結果から陸域における吸収の重要性が指摘され、有効な対策として採用された経緯からも明らかである。本研究では、実際の大気観測の結果から、地域規模の二酸化炭素収支量の評価を試みるものである。

2. 研究目的

本研究は、実際の大気観測から、その地域の二酸化炭素排出・吸収量を評価する手法を開発することを目的としている。様々な観測手法でもって得られた二酸化炭素の動態を大気輸送交換モデルでもって解析し、当該地域の二酸化炭素収支を推定評価する。また、従来から行われてきた二酸化炭素排出源・吸収源に係わるインベントリデータなどから得られた原単位を積み上げて評価する手法と比較検証することによって、今後その要請が強まるであろう国・地域毎の二酸化炭素収支量に対する評価手法の開発と精度向上に貢献する。

3. 研究方法

本研究では、ケーススタディとして、森林や都市が 100km 規模にパッチ状に存在し、かつ東西が山で挟まれ、南北が海であるため入出の差が測定しやすい北海道西部（石狩低地帯；小樽－札幌－千歳－苫小牧地帯）を対象にし、様々なスケールや方法を駆使した大気観測を総合的に行うことにより、地域規模の二酸化炭素排出・吸収量の評価を試みた。

北海道西部には札幌などの商業都市や苫小牧等の港湾・工業都市があり、産業・生活活動に伴う化石燃料の消費に伴う二酸化炭素の大量排出がある。また、都市を取り巻く農地・大規模な森林による二酸化炭素吸収があり、その量は季節的に大きく変化していると考えられる。この地域対象として地域規模の二酸化炭素濃度の三次元分布を、時間を変えて測定することにより、当該地域の総排出・放出量、また、吸収・放出の空間分布が推定できるであろう。

研究の方法としては、立体分布を測定するためのキャンペーン観測と統計的処理が可能な長期観測を組み合わせ、大気の輸送モデルを確立し、人為発生源のインベントリデータ・土地利用データ・森林統計データ・森林吸収モデルなどによるシミュレーション結果と比較した(図1-1)。

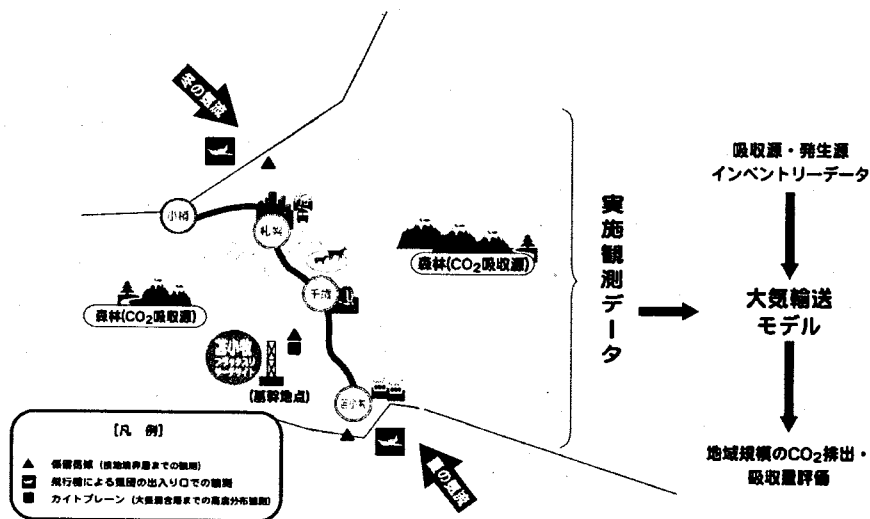


図 1-1 石狩低地帯における二酸化炭素排出・吸収量評価のための観測概念図

このために、以下の調査研究を実施した。

- (1) 発生源・吸収源インベントリデータの収集・GIS化
 - ① 土地利用データ・森林データ・月別化石燃料使用量データ・気象データなどを収集した。
 - ② 収集データのGIS化により統合した。
- (2) 二酸化炭素濃度フラックスの定点連続観測
 - ① 基幹拠点として国立環境研究所地球環境研究センター苫小牧フラックスリサーチサイト（苫小牧市丸山）において定点観測した。
 - ② 対照・比較地点として北海道大学北方生物圏フィールド科学センター天塩研究林（天塩郡幌延町）において定点観測した。
- (3) 大気輸送交換モデルでの二酸化炭素濃度分布推定
 - ① 小キャンペーン・定点連続観測結果を用いた大気輸送交換モデルの開発を行った。
 - ② 境界層内輸送と自由対流圏交換モデルによるシミュレーションを行った。
- (4) キャンペーン観測による当該地域の大气中二酸化炭素の動態解明
 - ① 小型航空機に気象・二酸化炭素濃度連続測定装置を搭載し、石狩湾と苫小牧沖の海上で、主風向に対し鉛直な断面測定を行い、温室効果ガスの当該地域の出入りを測定した。
 - ② パイロットバルーン・ドップラーソーダによる風向風速の鉛直分布の時間変化を測定した。
- (5) キャンペーン観測とモデル計算結果の比較検証

4. 結果・考察

(1) 発生源・吸収源インベントリデータの収集・GIS化

① 基本的な算出方法について

排出源データ整備にあたっては、まず全体の排出量に対する排出源別の比率を確認し、寄与の高いものについて整備することとした。

図2-1は、北海道温暖化防止計画資料から作成した北海道の二酸化炭素排出量比である。この資料から二酸化炭素排出源として製造業・家庭・自動車・業務の占める割合が多いことが判明した。よって、これらについて、3次メッシュ（以下、メッシュ）別・月別・時刻別の二酸化炭素排出量を算出することとした。

また、吸収源については農地・森林に対してメッシュ別面積を算出することとした。

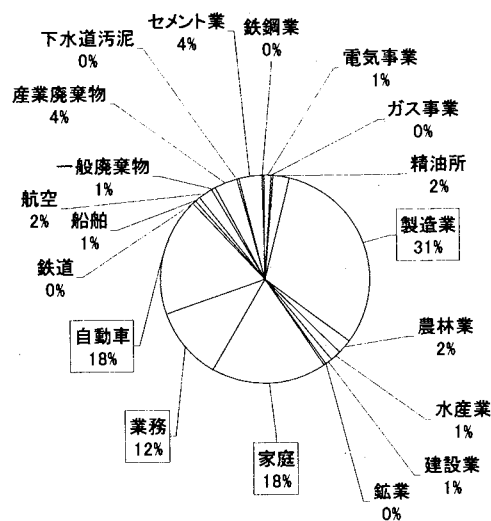


図2-1 北海道の二酸化炭素排出量（1997年）
北海道温暖化防止計画資料より

② 家庭住宅メッシュ別月別時刻別二酸化炭素排出量の算出

北海道の家庭における主なエネルギー消費は、灯油、LPガス、都市ガス、電気の4種類であ

る。電気については、発電所での二酸化炭素排出量で把握するため、ここでは、残りの3種類について、メッシュ別月別時刻別エネルギー源別二酸化炭素排出量を算出する。

ア. 戸建住宅灯油消費による二酸化炭素排出量

戸建住宅の灯油消費量は、札幌市近郊における5軒の1年間の時刻別暖房・給湯用灯油消費量実測値をもとに、月別灯油消費割合及び月別時刻別平均灯油消費割合を算出し、月別時刻別排出パターンを作成した。次に、社団法人北海道消費者協会・石油連盟発行の「平成13年度北海道家庭用エネルギー消費実態調査」に掲載されている平成12年度の戸建住宅1世帯あたり年間灯油消費による二酸化炭素排出量に月別時刻別排出パターンを乗じ、月別時刻別戸建住宅の1世帯あたり灯油消費による二酸化炭素排出量を算出し、これに北海道のメッシュ別戸建住宅数を乗じ、メッシュ別月別時刻別戸建住宅灯油消費による二酸化炭素排出量を求めた。

算出フローを図2-2に示す。

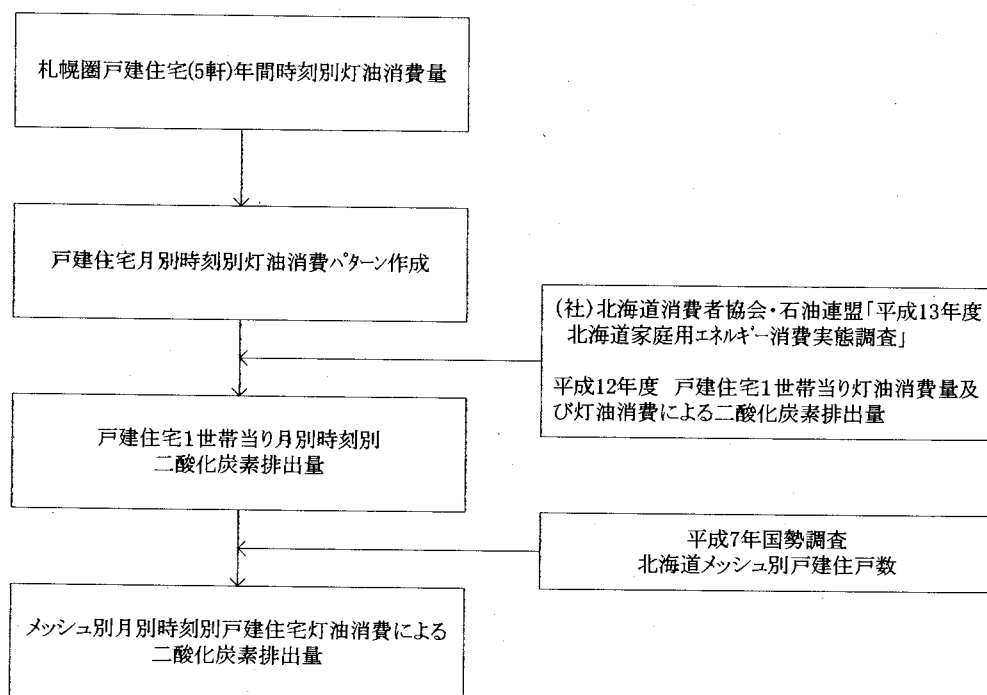


図2-2 北海道メッシュ別月別時刻別戸建住宅灯油消費による二酸化炭素排出量の算出フロー

イ. 戸建住宅LPガス及び都市ガス消費による二酸化炭素排出量

戸建住宅のLPガス及び都市ガス消費の月別パターンは、「平成13年度北海道家庭用エネルギー消費実態調査」に掲載されている平成12年度の戸建世帯の月別LPガス及び都市ガス使用量を用いて設定した。また、時刻別パターンについては、北海道においてはLPガス及び都市ガス使用について調理に起因している場合が多いと考えられることから、社団法人空気調和・衛生工学会 空気調和設備委員会、住宅の消費エネルギー計算法小委員会「シンポジウム(東京)住宅のエネルギー計算用設定条件のモデル化」(平成8年10月23日)の資料として配布された、調理に係わる実測負荷パターンを用いた。

1世帯あたりのLPガス及び都市ガス消費による二酸化炭素排出量は、灯油消費量と同じく、「平成13年度北海道家庭用エネルギー消費実態調査」に掲載されている平成12年度の戸建住宅1世帯あたり年間LPガス及び都市ガス消費による二酸化炭素排出量を用いた。この排出量に月別時刻別排出パターンを乗じ、月別時刻別戸建住宅の1世帯あたりLPガス及び都市ガス消費による二酸化炭素排出量を算出し、さらに、北海道のメッシュ別戸建住戸数を乗じ、メッシュ別月別時刻別戸建住宅LPガス及び都市ガス消費による二酸化炭素排出量を求めた。

算出フローを図2-3に示す。

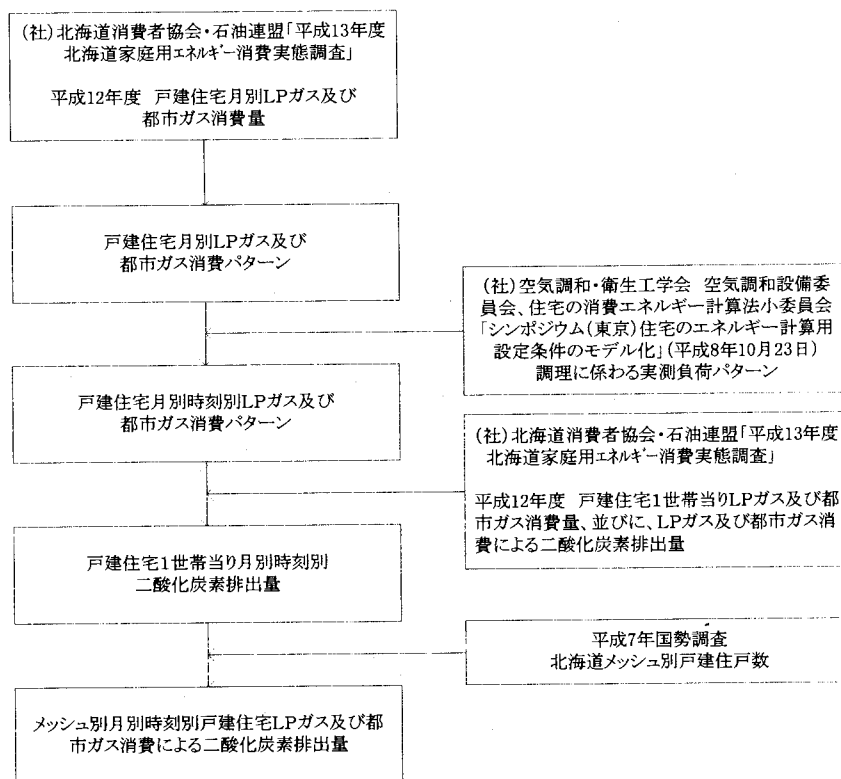


図2-3 北海道メッシュ別月別時刻別戸建住宅LPガス及び都市ガス消費による二酸化炭素排出量の算出フロー

ウ. 集合住宅灯油消費による二酸化炭素排出量

集合住宅の灯油消費による二酸化炭素排出割合は、札幌市にある集合住宅への温熱供給を主とする地域熱供給の月別供給熱量と、夏冬の時刻別負荷パターンを用いて作成した。ただし、ここで使用した地域熱供給の負荷パターンは、入手できた昭和60年以前のものを使用した。時刻別負荷パターンは1月と7月の2つしかないため、ここでは、6月から9月までを7月パターンとし、その他の月は1月の冬パターンとした。

年間の集合住宅における灯油消費による二酸化炭素排出量は、「平成13年度北海道家庭用エネルギー消費実態調査」に掲載されている平成12年度の集合住宅1世帯あたり年間灯油消費量から算出したものを用いた。この1世帯あたり二酸化炭素排出量に、月別時刻別排出パターンを乗じ、月別時刻別集合住宅の1世帯あたり灯油消費による二酸化炭素排出量を算出し、これに北海道のメッシュ別集合住戸数を乗じてメッシュ別月別時刻別集合住宅灯油消費による二酸化炭素排出量を求めた。算出フローを図2-4に示す。

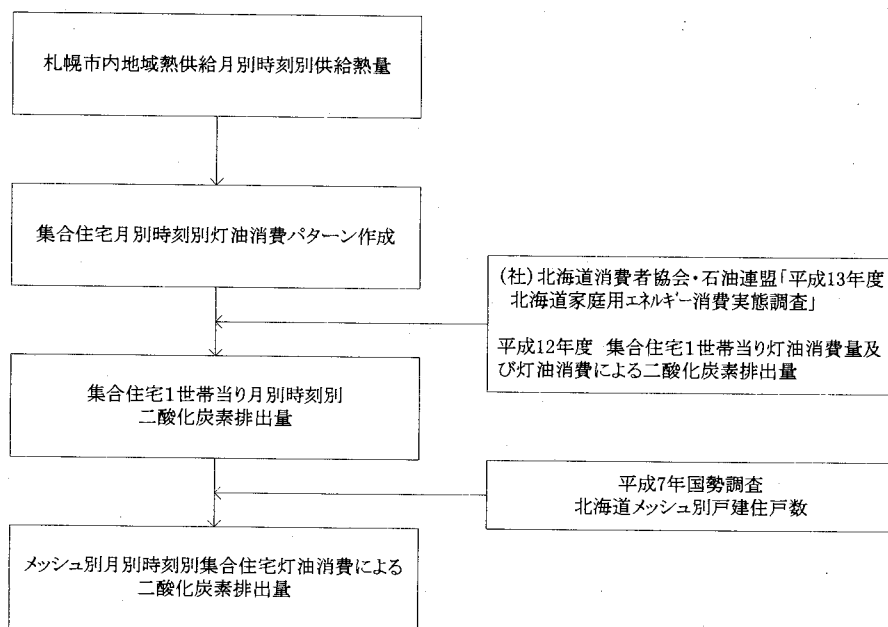


図 2-4 北海道メッシュ別月別時刻別集合住宅灯油消費による二酸化炭素排出量の算出フロー

エ. 集合住宅LPガス及び都市ガス消費による二酸化炭素排出量

集合住宅のLPガス及び都市ガス消費の月別パターンは、戸建住宅と同じく「平成13年度北海道家庭用エネルギー消費実態調査」に掲載されている平成12年度の集合世帯の月別LPガス及び都市ガス使用量を用いて設定した。また、時刻別パターンも、戸建住宅と同様に調理による使用率が高いものと考えられることから、前述の「シンポジウム（東京）住宅のエネルギー計算用設定条件のモデル化」の資料に記載されている実測負荷パターンを用いた。

1世帯あたりのLPガス及び都市ガス消費による二酸化炭素排出量は、戸建住宅と同じく「平成13年度北海道家庭用エネルギー消費実態調査」に掲載されている平成12年度の集合住宅1世帯あたり年間LPガス及び都市ガス消費による二酸化炭素排出量を用いた。この排出量に月別時刻別排出パターンを乗じ、月別時刻別集合住宅の1世帯あたりLPガス及び都市ガス消費による二酸化炭素排出量を算出し、さらに、北海道のメッシュ別集合住戸数を乗じ、メッシュ別月別時刻別集合住宅LPガス及び都市ガス消費による二酸化炭素排出量を求めた。

算出フローを図2-5に示す。

オ. GISデータ化

以上から算出したデータをメッシュポリゴンデータと結合し、GISデータ化を行った。図2-6に家庭住宅からの二酸化炭素排出量月積算値の例を示す。1月・7月共に二酸化炭素排出源は、札幌及びその周辺部に集中している。一方、石狩平野中央部では札幌市南東部から北広島、恵庭、千歳そして太平洋岸の苫小牧と、排出源が直線的に並んでいることがわかる。次に、二酸化炭素排出総量に着目すると1月は7月よりも多く、冬季の暖房が家庭からの二酸化炭素排出量増大に大きく影響していることがわかる。

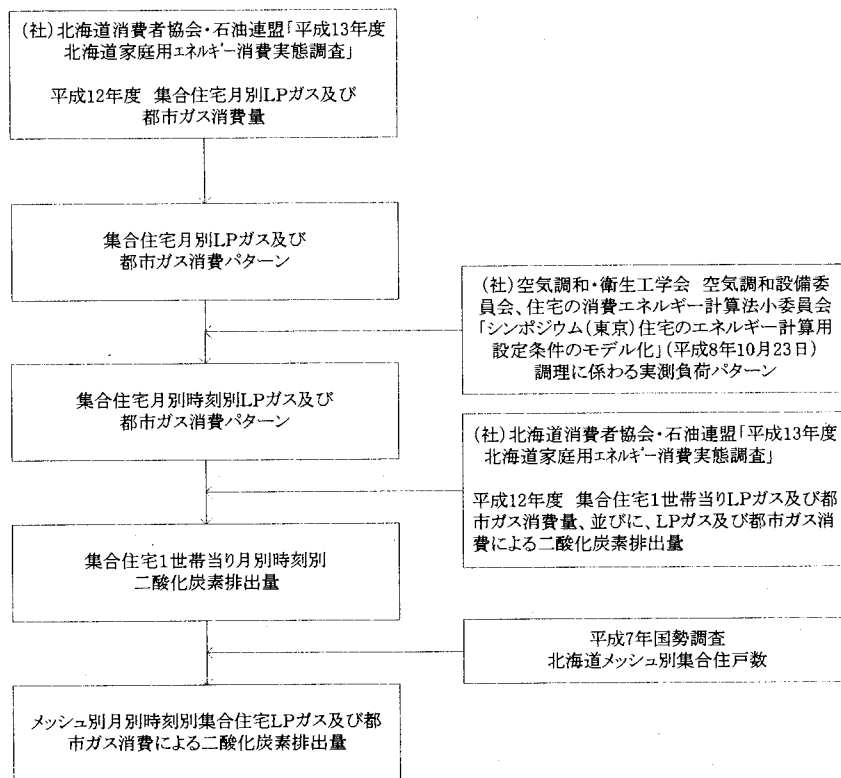


図 2-5 北海道メッシュ別月別時刻別集合住宅LPガス及び都市ガス消費による二酸化炭素排出量の算出フロー

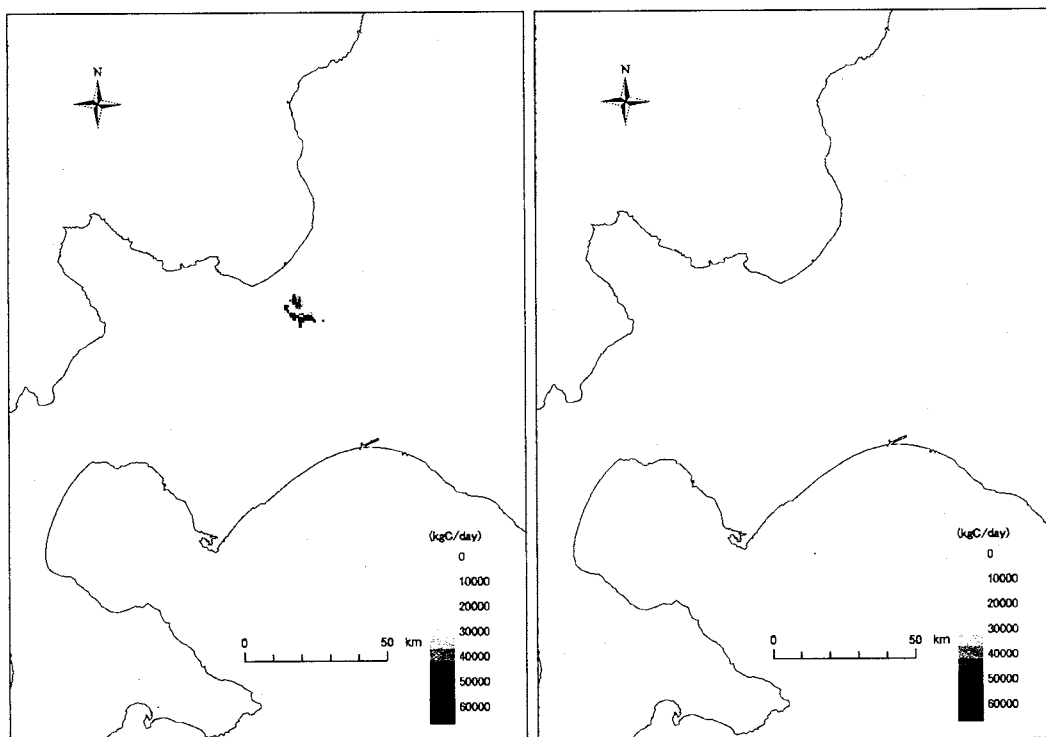


図 2-6 メッシュ別月別家庭住宅二酸化炭素総排出量
(左:1月 右:7月)

③業務系建物メッシュ別月別時刻別二酸化炭素排出量の算出

北海道の業務系建物からの二酸化炭素排出量は、環境省資料と独自調査による建物用途別エネルギー源別使用原単位(単位延床面積あたりエネルギー源別年間使用量)、並びに独自調査による建物用途別エネルギー使用パターンを用いて算出した。

ア. 算出方法

業務系建物における道内のメッシュ別月別時刻別二酸化炭素排出量の算出フローを、図 2-7 に示す。道内のメッシュ別月別時刻別二酸化炭素排出量は、都市計画基礎調査による建物のメッシュ毎のデータを入手することのできた札幌市については、このデータを基に、メッシュ別建物用途別延床面積を算出し、これに別途求めた建物用途別月別時刻別単位延床面積あたり二酸化炭素排出量を乗じ、メッシュ別建物用途別月別時刻別二酸化炭素排出量を求めた。

札幌以外の地域は、環境省(当時環境庁)「地球温暖化対策地域推進計画策定ガイドライン」(平成5年8月)(以下、ガイドライン)に示されている、民間建物は、主として、固定資産税の延床面積から、公共建物は公共施設の統計資料等から推計する方法によって、全道の建物用途別延床面積を算出し、メッシュ毎の人口比で案分し、メッシュ別建物用途別延床面積を算出した。ここでも、これに別途求めた建物用途別月別時刻別単位延床面積あたり二酸化炭素排出量を乗じ、メッシュ別建物用途別月別時刻別二酸化炭素排出量を求めた。

イ. 建物用途別月別時刻別単位延床面積あたり二酸化炭素排出量の算出

a. 算出方法

建物用途別月別時刻別単位延床面積あたり二酸化炭素排出量は、環境省のガイドライン及び独自調査結果による建物用途別単位延床面積あたりエネルギー源別使用量に、エネルギー源別の排出係数を乗じ、単位延床面積あたりの年間二酸化炭素排出量を算出し、これを独自調査による建物用途別暖房、給湯、冷房の月別時刻別負荷パターンによって案分した。ただし、エネルギー使用量は、暖房、給湯、冷房、それぞれ均等に使用されるものとし、1/3 ずつとした。また、月別時刻別負荷パターンのある建物用途は、事務所、物販、宿泊、教育、医療の5種類であるので、道内及び札幌市の建物用途別床面積を、エネルギー消費が似通っていると考えられる5つの用途に割り振った。(図 2-7)

b. 建物用途別エネルギー源別使用原単位

算出に使用した建物用途別エネルギー使用原単位を表 2-1 に、また、エネルギー使用原単位に二酸化炭素排出係数(炭素換算)を乗じ、二酸化炭素排出量を算出したものを表 2-2 に示す。ただし、ここでは、建物用途が10種類となっているが、月別時刻別負荷パターンは、事務所、物販、宿泊、教育、医療の5種類しかないため、負荷パターンが似通っているものを5種類に分類し、メッシュ毎の二酸化炭素排出量を算出した。

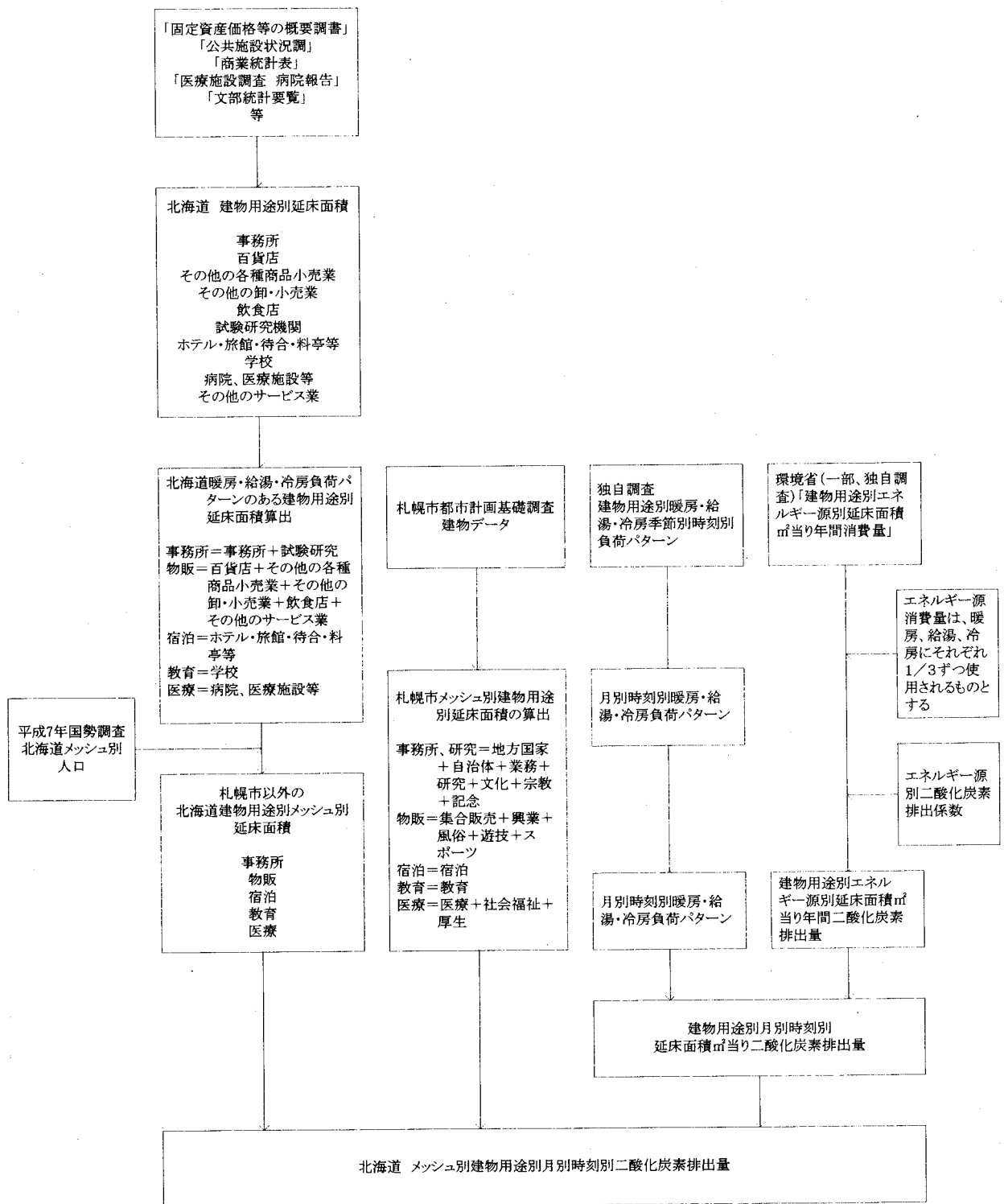


図 2-7 業務系建物メッシュ別建物用途別月別時刻別二酸化炭素排出量算出フロー

表 2-1 建物用途別エネルギー使用原単位

建物用途	電気 kWh/m ²	都市ガス Mcal/m ²	LPG kg/m ²	A重油 l/m ²	灯油 l/m ²
事務所	129.6	27.6	0.008	6.1	3.3
百貨店	173.8	80.0	0.000	10.7	1.8
その他各種小売	271.9	59.4	0.000	2.1	0.3
卸・小売	291.5	72.0	0.000	5.1	2.6
飲食店	215.2	318.9	0.417	11.3	1.8
学校	36.6	9.0	0.033	4.4	0.5
試験研究	175.5	6.8	0.258	3.2	5.8
ホテル・旅館	151.9	106.1	0.075	20.8	9.0
病院・医療	51.6	73.0	2.750	49.8	28.5
その他サービス	108.3	46.6	0.025	4.4	0.9

(注) ハッチ部分は環境庁原単位、他は札幌市内自治体調査結果

表 2-2 建物用途別二酸化炭素排出原単位

建物用途	エネルギー	都市ガス	LPG	A重油	灯油
	排出係数 単位	kgC/m ³	kgC/kg	kgC/l	kgC/l
事務所		0.5839	0.82	0.7357	0.6896
百貨店		1.465	0.003	4.501	2.262
その他各種小売		4.247	0.000	7.880	1.248
卸・小売		3.153	0.000	1.528	0.214
飲食店		3.822	0.000	3.767	1.773
学校		16.928	0.160	8.335	1.223
試験研究		0.478	0.013	3.235	0.333
ホテル・旅館		0.361	0.099	2.365	4.031
病院・医療		5.632	0.029	15.330	6.214
その他サービス		3.875	1.058	36.616	19.653
		2.474	0.010	3.235	0.589

c. 建物用途別月別時刻別暖房・給湯・冷房負荷パターンの作成

事務所の暖房・給湯・冷房の負荷パターンは、札幌市に建つ事務所ビルの月別暖房・給湯・冷房の負荷パターン、及び、夏期、中間期、冬期の時刻別負荷パターンを用いた。ここでは、暖房期間 1月～5月、10月～12月、給湯期間 年間、冷房 5月～10月とした。したがって、5月と10月は暖房と冷房が途中で切り替えられることとなる。

百貨店などの物販建物の暖房・給湯・冷房の負荷パターンは、旭川市に建つ商業建物の月別暖房・給湯・冷房の負荷パターン、及び夏期、中間期、冬期の時刻別負荷パターンを用いた。物販建物の場合、照明等の内部発生熱が多いため暖房期間が短く、冷房期間が長くなる。ここでは、暖房期間 1月～4月、10月～12月、給湯期間 年間、冷房 4月～10月とした。

ホテル、旅館などの宿泊用途建物の暖房・給湯・冷房の負荷パターンは、旭川市に建つホテルの月別暖房・給湯・冷房の負荷パターン、及び、夏期、中間期、冬期の時刻別負荷パターンを用いた。宿泊建物の場合、事務所や物販と異なり、給湯負荷が終日生じるなど、給湯パターンに特徴がある。月別の暖房・冷房パターンは事務所とほぼ同じである。

小中学校、大学などの教育用途建物の暖房・給湯・冷房の負荷パターンは、札幌市に建つ大学の月別暖房の負荷パターン、及び、中間期、冬期の時刻別負荷パターンを用いた。

教育建物の場合、給湯及び冷房負荷はみていない。

病院、診療所などの医療用途建物の暖房・給湯・冷房の負荷パターンは、札幌市に建つ病

院の月別暖房・給湯・冷房の負荷パターン、及び、夏期、中間期、冬期の時刻別負荷パターンを用いた。医療建物の場合、暖房、給湯以外にも消毒用の温熱を必要とするため、これらの使用と暖房を合わせて温熱負荷とした。給湯はこれとは別に、給湯単独で負荷パターンを作成した。d. 建物用途別月別時刻別単位延床面積あたり二酸化炭素排出量の算出

環境省のガイドラインを主とした建物用途別エネルギー源別延床面積 m^2 あたり年間消費量にエネルギー源別の二酸化炭素排出係数を乗じて求めた、建物用途別エネルギー源別延床面積 m^2 あたり年間二酸化炭素排出量と、建物用途別月別時刻別暖房・給湯・冷房負荷パターンを用いて、建物用途別月別時刻別単位延床面積あたり二酸化炭素排出量を算出した。

ウ. メッシュ別建物用途別延床面積の算出

a. 札幌市の北海道メッシュ別建物用途別延床面積の算出

札幌市をはじめとする道内市町村では、地域の全ての建物データを収集整理した都市計画基礎調査を実施している。市町村によっては、さらに、建物毎に座標値を負荷しているところもあり、これを利用して、メッシュ毎に建物用途別延床面積の集計が可能である。本調査では、札幌市のデータが入手出来たため、札幌市の都市計画基礎調査の座標データと、個々の建物用途、延床面積のデータを用いて、札幌市のメッシュ別建物用途別延床面積を算出した。ここでは、都市計画基礎調査における建物用途分類の中から、住宅、工業、その他（農業施設）を除く業務系建物用途を対象とした。

札幌市の場合、都市計画基礎調査の建物分類を、負荷パターンのある①事務所、②物販、③宿泊、④教育、⑤医療の5用途に集計した。

5用途への集計は、以下の通りである。

- ①事務所、研究＝地方国家＋自治体＋業務＋研究＋文化＋宗教＋記念
- ②物販＝集合販売＋興業＋風俗＋遊技＋スポーツ
- ③宿泊＝宿泊
- ④教育＝教育
- ⑤医療＝医療＋社会福祉＋厚生

以上より求めた札幌市のメッシュ別建物用途別延床面積の算出結果の例を、表 2-3 に示す。

b. 札幌市以外の北海道メッシュ別建物用途別延床面積の算出

札幌市以外の道内の建物用途別延床面積は、前述の通り、ガイドラインに示された方法によって算出し、それをメッシュ別に人口案分した。札幌市については、市から提供を受けた都市計画基礎調査データからメッシュ別に建物用途別延床面積を算出した。

環境庁（当時）のガイドラインに示されている全道の建物用途別延床面積の建物用途と算出方法は、概ね、以下の通りである。

・使用資料

- ・「固定資産価格等の概要調書」自治省（当時）
- ・固定資産税の家屋の種別床面積、決定価格等
課税対象建物種別延床面積
課税対象建物種別延べ床面積

表 2-3 札幌市のメッシュ別建物用途別延床面積の算出結果の例

メッシュ			建物用途別延床面積 [m ²]				
1次	2次	3次	事務所	物販	宿泊	教育	医療
6441	644131	64413152	129	7,021	1,434	92	13,625
6441	644131	64413153	2,866	162	282,740	4,048	1,622
6441	644131	64413163	832	0	22,418	3,121	799
6441	644131	64413164	4,689	232	4,102	5,678	8,534
6441	644132	64413217	3,053	2,071	1,876	8,324	144
6441	644132	64413218	390	152	183	5,432	105
6441	644132	64413227	718	277	182	1,918	9,959
6441	644132	64413228	124	389	424	11,269	272
6441	644132	64413234	222	358	2,246	15,949	491
6441	644132	64413237	21	1,753	1,052	605	2,132
6441	644132	64413238	843	12	0	6,240	4,026
6441	644132	64413240	1,018	572	767	6,356	256
6441	644132	64413242	624	682	2,274	2,651	2,549
6441	644132	64413243	1,068	1,135	169	8,263	2,247
6441	644132	64413244	1,009	7,599	166	7,073	2,574
6441	644132	64413245	940	37,062	12,797	4,984	375
6441	644132	64413246	517	10,067	1,809	10,055	2,935
6441	644132	64413247	1,463	2,744	38,677	6,786	3,095
6441	644132	64413248	246	3,429	318	10,890	10,951
6441	644132	64413251	2,307	1,850	233	8,061	296
6441	644132	64413252	777	2,154	183	522	27,690
6441	644132	64413253	6,651	227	2,726	7,122	2,576
6441	644132	64413254	3,221	15,060	158	38,045	3,612
6441	644132	64413255	5,173	6,655	3,988	14,821	616

○非木造 事務所・店舗・百貨店、病院・ホテル、劇場・娯楽場、銀行・市場、その他

○木造 ホテル・簡易旅館、旅館・料亭、事務所・銀行、店舗・百貨店、劇場・映画館・キャバレー・ダンスホール、病院、浴場、その他

・『公共施設状況調』自治省（当時）

公共用事務所ビル

○その他施設 県・市町村の本庁舎・支所・出張所

公共用娯楽施設

○その他の施設 県民会館・公会堂・市民会館

公立病院の病床数

公共サービス業施設延べ床面積

○児童福祉施設(除保育所) 救護院、し体不自由児施設、精神薄弱児施設、母子寮

○老人福祉施設 養護老人ホーム、特別養護老人ホーム、軽費老人ホーム

○保護施設 救護施設、授産施設、更生施設

○精神薄弱者救護施設 精神薄弱者更生施設、精神薄弱者授産施設

○その他の社会福祉施設 助産施設、老人福祉センター、老人憩いの家

○児童館

○隣保館

○図書館

○公民館

○博物館 総合博物館、科学・歴史博物館、美術博物館

- 体育館 体育施設、体育館
- 青年の家・自然の家…青年の家・自然の家、勤労青少年ホーム等
- 集会施設
- ・『商業統計表』、通産省
 - 卸・小売業合計、小売業、百貨店、各種商品小売業
 - 飲食店商店数
- ・『財政金融統計月報』
 - 国立療養所、国立病院（一般）、国立病院（特別）床面積
- ・『医療施設調査 病院報告』、厚生省
 - 病院の1病床あたりの面積、病院の種類・都道府県—12大都市別
 - 1病床あたりの面積
- ・『文部統計要覧』、文部省
 - 学校（幼稚園、小学校、中学校、高等学校、短期大学、大学、その他学校（盲学校、聾学校、養護学校、専修学校、各種学校）建物床面積
- ・自治体調査資料
 - 私立病院、診療所病床数
 - 試験研究機関床面積
- ・算定方法
 - ・建物用途別延べ床面積の算出
 - 事務所ビル
 - =木造家屋延べ床面積(事務所・銀行+店舗)+非木造家屋延べ床面積(事務所・店舗・百貨店+銀行+市場)-卸・小売業売り場面積+公共用事務所ビル延べ床面積(県庁舎、市役所、その他)
 - 百貨店
 - =百貨店売り場面積
 - その他の各種商品小売業
 - =その他の各種商小売業床面積
 - その他の卸・小売業（百貨店・各種商品小売業以外の卸・小売業）
 - =卸・小売業売り場面積合計-百貨店売り場面積-各種商品小売業売り場面積
 - 飲食店
 - =飲食店数×平均占有床面積/店
 - 飲食店全国平均占有床面積…80 m²/店：(財)日本エネルギー経済研究所資料より試算
 - ホテル・旅館・待合・料亭等
 - =木造家屋延べ床面積(ホテル・旅館・料亭・待合+病院)+非木造家屋延べ床面積(病院・ホテル) - (私立病院病床数×一病床あたりの占有床面積)
 - 学校（含む幼稚園）
 - =学校延べ床面積(保育所・幼稚園・小学校・中学校・高等学校・高等専門学校・短期大学・大学・その他の学校) + 試験研究機関床面積

○病院、医療施設等

= (私立病院病床数×一病床あたりの占有床面積) + 国立病院床面積 (国立療養所・国立病院 (一般)・国立病院 (特別)) + (公立病院病床数×一病床あたりの床面積)

○その他のサービス業

= 木造家屋延べ床面積 (劇場・映画館等娯楽施設) + 非木造家屋延べ床面積 (劇場・娯楽施設・ホール型建物) + 公共娯楽施設 (県民会館・市民会館・公会堂) + 児童福祉施設 (除保育所) + 老人福祉施設 + 保護施設 + 精神薄弱者救護施設 + その他の社会福祉施設 + 児童館 + 隣保館 + 公民館 + 図書館 + 博物館 + 体育館 + 青年の家・自然の家 + 勤労青少年ホーム + 集会施設 + 木造家屋延べ床面積 (公衆浴場)

環境省のガイドラインの方法によって、平成9年の北海道全体の建物用途別延床面積を算出した結果を、表2-4に示す。ただし、その他の卸・小売業は、その他の各種商品小売業に含むものとした。北海道全体で業務系建物の延床面積は、約72千㎡と推計され、そのうち事務所が48%、学校が23%、ホテル・旅館が12%を占め、これら3用途で全体の83%を占めている。

表2-4 北海道全体の建物用途別延床面積の算出結果 平成9年

建物用途	事務所	百貨店	その他 各種小売	飲食店	学校	試験研究	ホテル・旅館	病院・医療	その他 サービス	合計
延床面積 [千㎡]	34,382	1,043	1,061	1,377	16,235	253	8,345	4,025	5,196	71,918
構成比 [%]	47.8	1.5	1.5	1.9	22.6	0.4	11.6	5.6	7.2	100.0

ガイドラインの方法によって算出した建物用途別延床面積を、負荷パターンのある①事務所、②物販、③宿泊、④教育、⑤医療の5用途に以下の通り集計した。

①事務所 = 事務所 + 試験研究

②物販 = 百貨店 + その他の各種商品小売業 + その他の卸・小売業 + 飲食店 + その他のサービス業

③宿泊 = ホテル・旅館・待合・料亭等

④教育 = 学校

⑤医療 = 病院、医療施設等

集計結果を表2-5に示す。5用途への集計結果、事務所48%、物販12%、宿泊12%、教育23%、医療6%という構成になっている。

表2-5 負荷パターンのある5用途への集計結果

建物用途	事務所	物販	宿泊	教育	医療	合計
延床面積 [千㎡]	34,635	8,677	8,345	16,235	4,025	71,918
構成比 [%]	48.2	12.1	11.6	22.6	5.6	100.0

札幌市以外の北海道メッシュ別建物用途別延床面積の算出結果の例を、表2-6に示す。

表 2-6 札幌市以外の北海道メッシュ別建物用途別延床面積の算出結果の例

1次メッシュ	2次メッシュ	3次メッシュ	4次メッシュ	地形図名	総人口	人口比率%	事務所	物販	宿泊	教育	医療
6239	27	49	62392749	江良	487	0.00309	1069	268	258	501	124
6239	27	59	62392759	江良	970	0.00615	2130	534	513	998	248
6239	27	69	62392769	江良	92	0.00058	202	51	49	95	23
6239	27	79	62392779	江良	85	0.00054	187	47	45	87	22
6239	37	18	62393718	原口	296	0.00188	650	163	157	305	76
6239	37	19	62393719	原口	49	0.00031	108	27	26	50	13
6239	37	29	62393729	原口	225	0.00143	494	124	119	232	57
6240	1	76	62400176	白神岬	9	0.00006	20	5	5	9	2
6240	1	84	62400184	白神岬	335	0.00212	736	184	177	345	85
6240	1	93	62400193	白神岬	170	0.00108	373	94	90	175	43
6240	1	94	62400194	白神岬	143	0.00091	314	79	76	147	36

エ. GIS データ化

以上から算出したデータをメッシュポリゴンデータと結合し、GIS データ化を行った。図 2-8 に業務系建物からの二酸化炭素排出量月積算値の例を示す。事業系建物からの排出量は家庭住宅に比べて季節変動が少なく、また札幌中心部に集中していることがわかる。

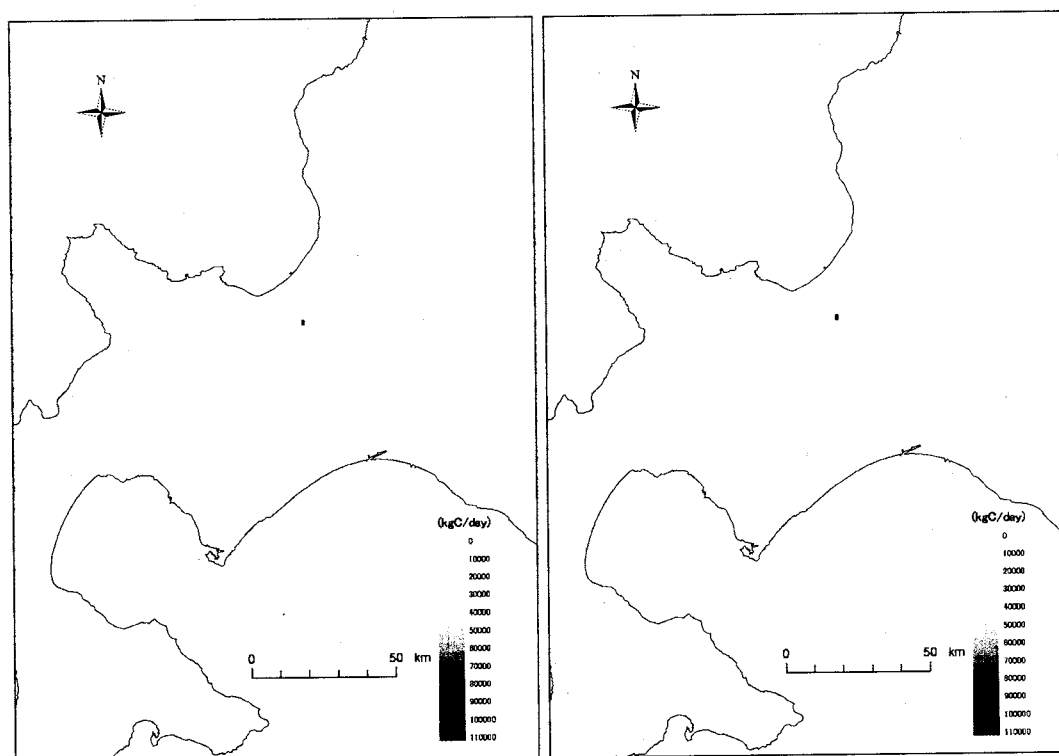


図 2-8 メッシュ別月別業務系建物二酸化炭素総排出量
(左:1月 右:7月)

④工場メッシュ別月別時刻別二酸化炭素排出量の算出

ア. 算出方法

北海道の工場からの二酸化炭素排出量は、図 2-9 に示すように、大気汚染物排出量総合調査結果を用いて、年間のエネルギー消費量によって大規模工場と小規模工場に分類し、それぞれの規模別に年間の燃料使用量から年間の二酸化炭素排出量を算出し、それを年間の運転月、日運転時間で案分し、工場別月別時刻別二酸化炭素排出量を算出した。このように、一般の工場

では、時刻別排出量は運転時間において均等に排出されるとしたが、火力発電所については負荷変動が大きい、「電力需給概況」から月別燃料消費パターンを作成し、また、北海道電力資料から時間最大電力出現日の時刻別電力量から時刻別パターンを作成し、火力発電所の月別時刻別排出パターンを作成した。次いで、メッシュ毎に工場からの月別時間別二酸化炭素排出量を集計し、工場のメッシュ別月別時刻別二酸化炭素排出量を算出した。

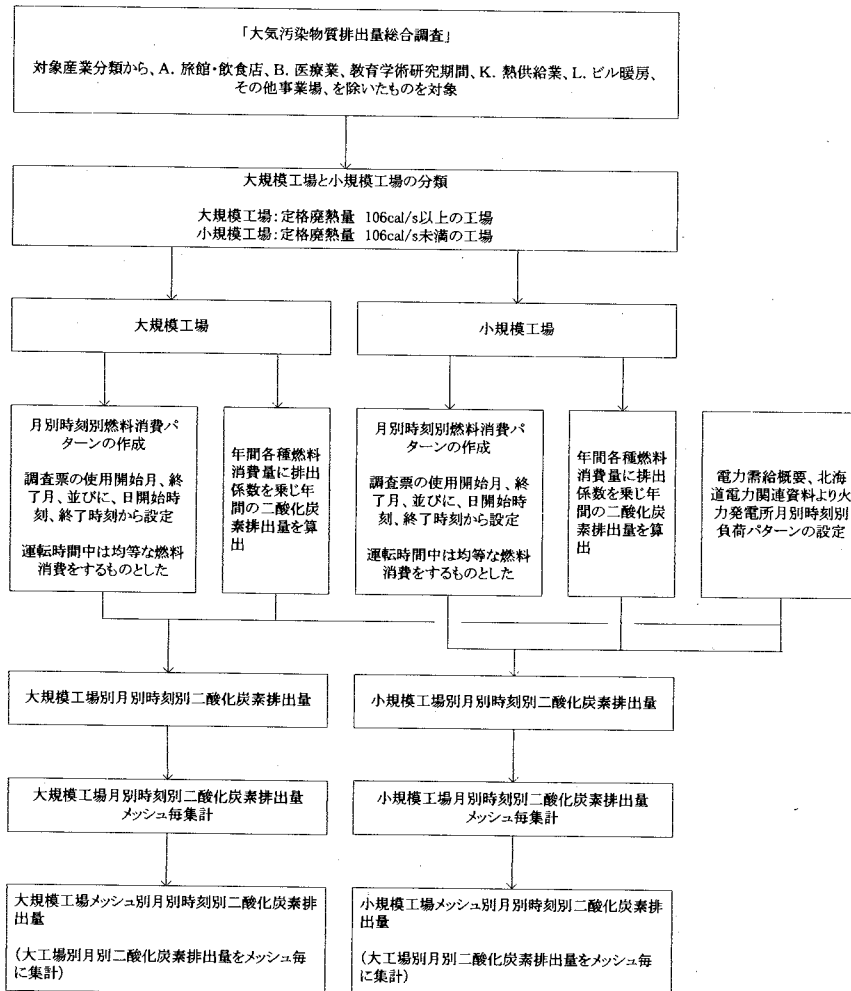


図 2-9 工場メッシュ別月別時刻別二酸化炭素排出量算出フロー

イ. 火力発電所の負荷パターンについて

一般の工場は、製造効率を最大限に保つと考えられるため、時刻別負荷はほぼ一定として良いと思われるが、前述のように、火力発電所は需要側の負荷によって排出量に変化する。そこで、ここでは、石炭及び重油使用量については、「電力需給の概要」から北海道電力の月別使用量を抽出し、月別排出パターンとした。また、時刻別パターンについては、北海道電力の季節別等の資料が無いいため、12月下旬の最大電力を記録した日の時刻別発電量のグラフから発電量を読みとり、時刻別排出パターンを作成した。

作成した月別と時刻別負荷パターンを、表 2-7 に示す。

表 2-7 火力発電所月別時刻別負荷パターン

月別パターン			時刻別パターン		
月	石炭 %	重油 %	時刻	石炭 %	重油 %
1	10.86	14.59	1	4.18	3.43
2	10.46	14.66	2	4.18	3.29
3	8.14	14.44	3	4.18	3.05
4	6.53	4.75	4	4.19	2.98
5	6.76	4.36	5	4.19	2.55
6	6.59	6.53	6	4.19	2.83
7	8.34	3.54	7	4.18	3.25
8	9.57	3.86	8	4.18	3.72
9	8.73	3.41	9	4.19	3.92
10	8.33	7.27	10	4.19	4.67
11	7.34	9.61	11	4.19	4.77
12	8.34	12.97	12	4.19	4.67
計	100.0	100.0	13	4.18	4.35
			14	4.19	4.46
			15	4.19	4.40
			16	4.19	4.71
			17	4.19	5.53
			18	4.19	5.44
			19	4.14	5.61
			20	4.01	5.21
			21	4.03	4.72
			22	4.10	4.49
			23	4.18	4.13
			24	4.19	3.81
			計	100.0	100.0

ウ. 算出対象産業分類について

大気汚染物質排出量総合調査が対象とする産業の中で、旅館・飲食店、医療業・教育学術研究機関、熱供給業、ビル暖房・その他事業場については、業務系建物からの排出量で把握していることから、ここでは、これらを除く産業分類の業種を対象とする。

エ. GIS データ化

以上から算出したデータをメッシュポリゴンデータと結合し、GIS データ化を行った。図 2-10 に工場の時刻別二酸化炭素排出量平均値の例を示す。苫小牧地域に大きな排出源があるほかは、各地に中小の排出源が点在していることがわかる。時刻別では、中小の排出源では主に昼間に排出しているのに対して、大きな排出源では昼夜間で変化が少ない傾向がみられた。

⑤道路メッシュ別月別時刻別二酸化炭素排出量の算出

ア. 算出方法

北海道の道路からの二酸化炭素排出量は、図 2-11 に示すように、まず平成 11 年度道路交通センサス交通量調査データを用いて幹線道路の排出量を算出し、北海道の温暖化防止計画による道路からの二酸化炭素総排出量推計値と幹線道路からの排出量の差分を細街路からの排出として算出を行った。道路交通センサスの車種別走行量および定点観測データから作成した時刻別走行量比推計から旅行速度を推定し、この 3 つのデータと車種別速度別二酸化炭素排出量から時刻別の幹線道路排出量を算出した。センサスデータは、デジタル道路地図データの属性と

センサデータの値からお互いの関係を推測し、さらに一部目視判読を行うことで結合を行い、二酸化炭素排出量の地図データ化を行った。細街路からの排出量は、北海道の道路からの総排出量と幹線道路からの差分を、細街路の総延長および細街路に接続する幹線道路の排出量によって各細街路へ割り振った。

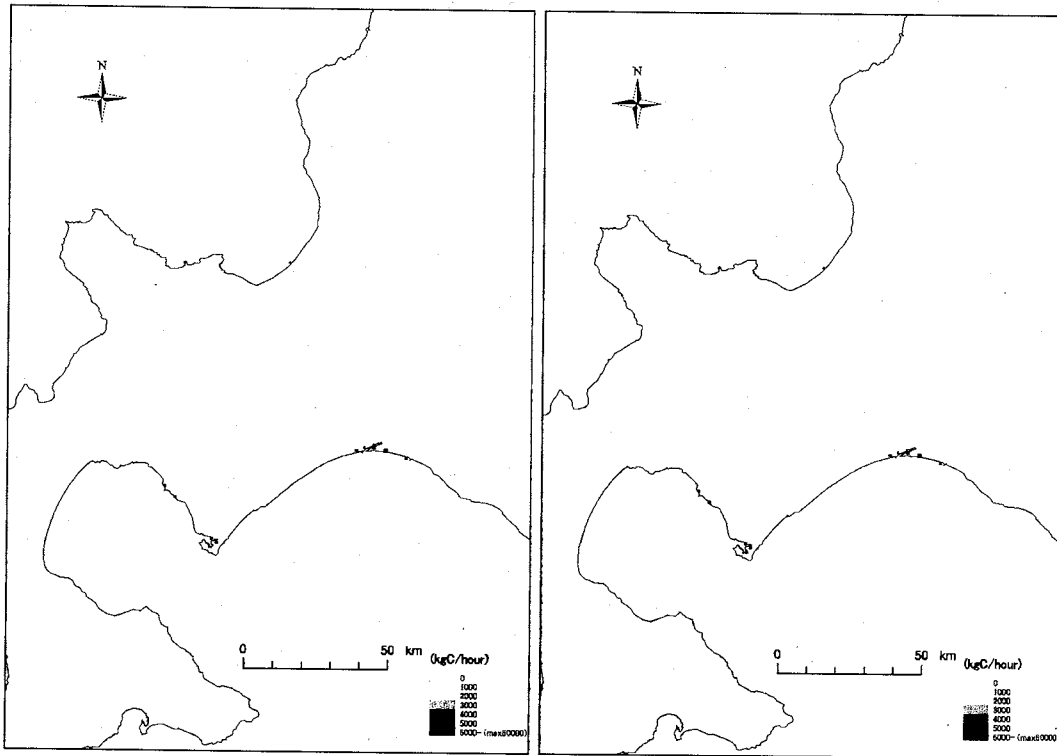


図 2-10 メッシュ別時刻別工場二酸化炭素総排出量 (左: 2 時 右: 14 時)

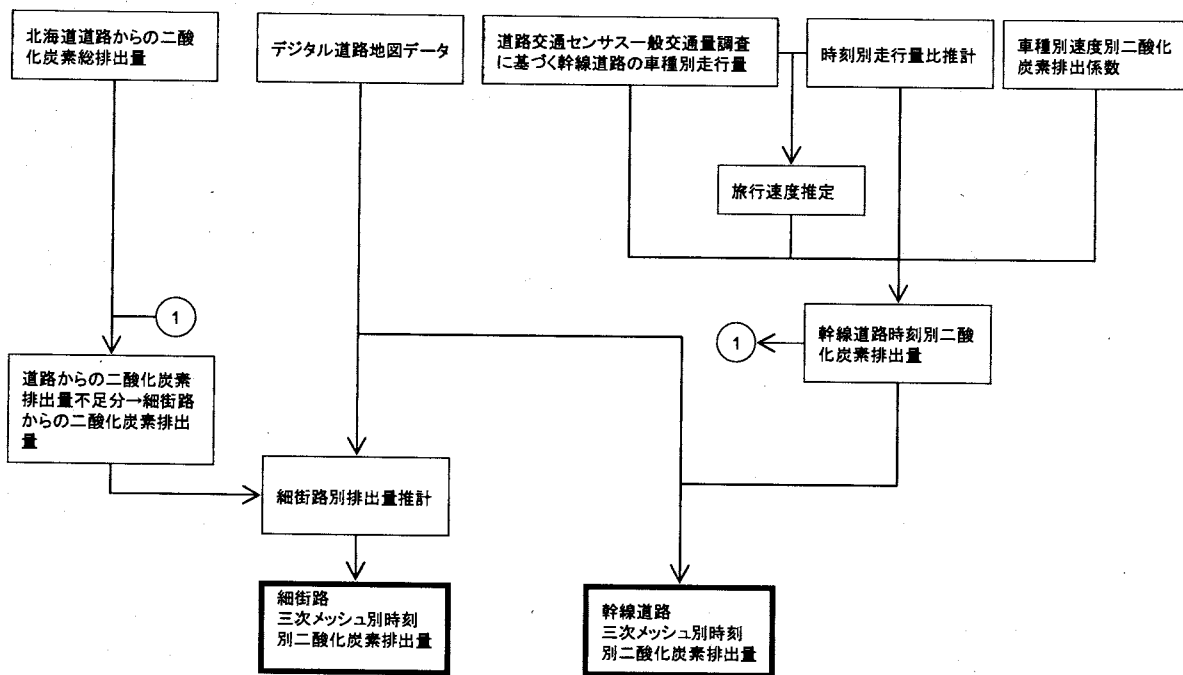


図 2-11 道路メッシュ別時刻別二酸化炭素排出量算出フロー

イ. GIS データ化

以上から算出したデータをメッシュポリゴンデータと結合し、GIS データ化を行った。図 2-12 にメッシュ別時刻別道路二酸化炭素排出量の例を示す。朝のラッシュ時間帯には深夜に比べ、幹線道路ぞいや札幌などの大都市内での排出量が大幅に増加していることがわかる。

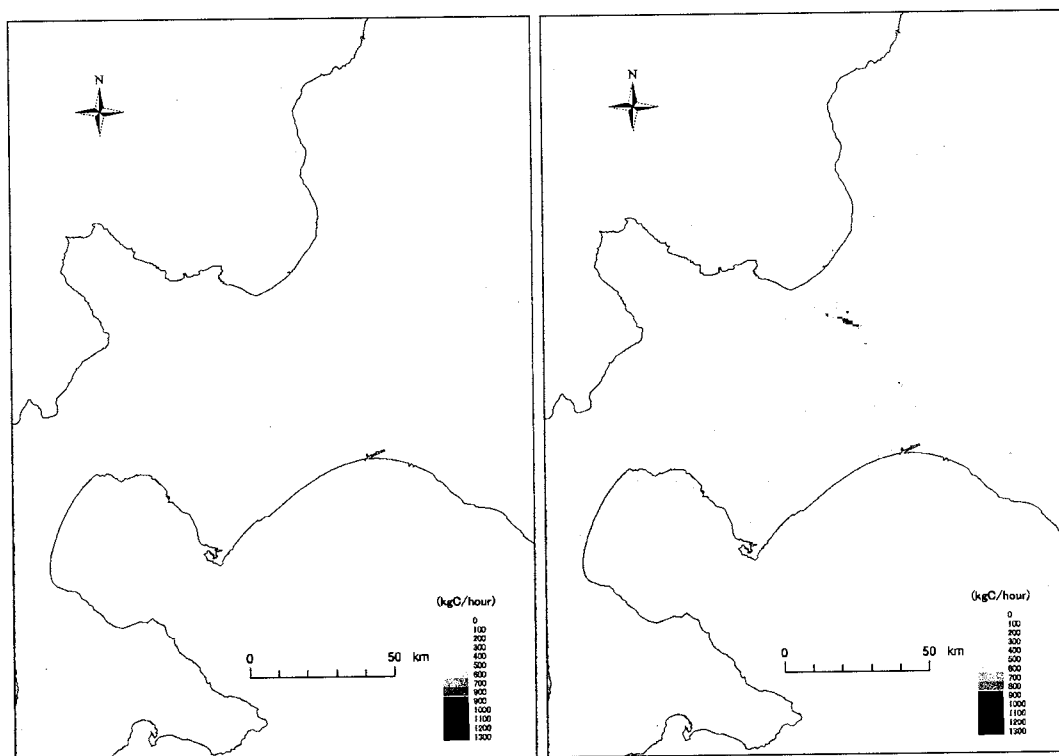


図 2-12 メッシュ別時刻別道路二酸化炭素排出量
(左：2時 右：8時)

⑥農地メッシュ別面積

農地面積については、農林水産省構造改善局で整備された第3次土地利用基盤整備基本調査データを用いた。このデータは、メッシュ毎に、田・普通畑・牧草地・樹園地の面積が整備されているためそのまま使用した。

⑦森林メッシュ別面積

図 2-13 にメッシュ別の森林面積率を示した。森林面積については、北海道環境科学研究センターで整備された、北海道緑ポリゴンデータを用いた。本データは、国土地理院発行の20万分の1地勢図から森林等の緑地について地図記号とその範囲を読みとり GIS データ化されたものである。緑ポリゴンの中から森林ポリゴンのみを抜き出し、メッシュサイズに切断を行い切断されたポリゴンの面積を計測することで、メッシュごとの森林面積データを整備した。

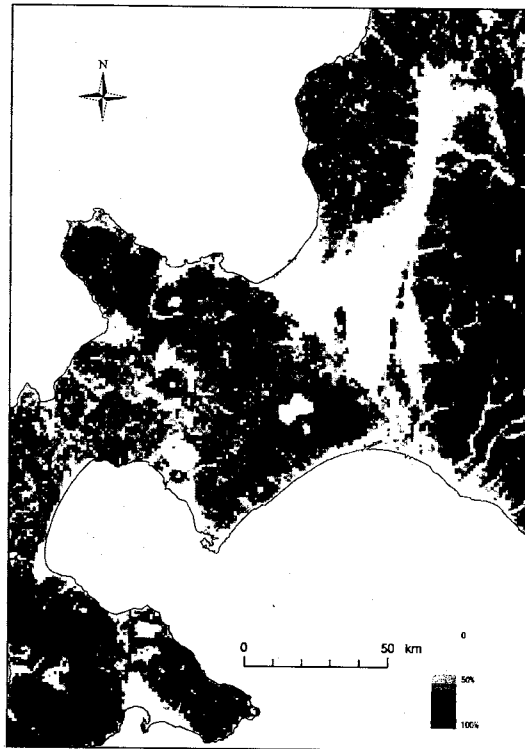


図 2-13 メッシュ別森林面積率

(2) 二酸化炭素フラックスの定点連続観測

当該観測地域の二酸化炭素吸収源の基幹観測点である国立環境研究所地球環境研究センター苫小牧フラックスリサーチサイト（以下、苫小牧サイト）において、二酸化炭素フラックスを連続観測するとともに、大気輸送モデルに反映するため、各種気象要素の測定や炭素循環過程の把握に努めた。苫小牧サイトは、北海道苫小牧市の国有林内にあり、均一なカラマツ人工林が約 100ha に渡って広がっている。苫小牧サイトの周辺は、半径 10km 以上に渡って平坦な地形が続いており、大きな人工建造物もない。これらのことから、微気象学的な二酸化炭素フラックス計測に最適な場所と考えられた。

一方、比較対照観測点である北海道大学北方生物圏フィールド科学センター天塩研究林（天塩郡幌延町）に所在する天塩 CC-LaG (Carbon Cycle and Larch Growth experiment) サイト（以下、天塩サイト）においても、苫小牧サイトと同様の観測を実施した。天塩サイトは、広さが約 14ha で一つの集水域を形成しており、流出を含めた炭素循環の把握に最適である。観測地は針広混交天然林が広がっており、天然林の二酸化炭素フラックス等、炭素の挙動を把握するために観測を実施した。

①観測方法

森林の基本的な観測概念図を図 3-1 に示した。二酸化炭素フラックスは、森林内に建設した観測塔により、林冠上において渦相関法によって計測した。同時に、観測塔において二酸化炭素鉛直濃度計及び各種気象計を設置するとともに、林内において炭素の挙動を測定する測器を配置した。

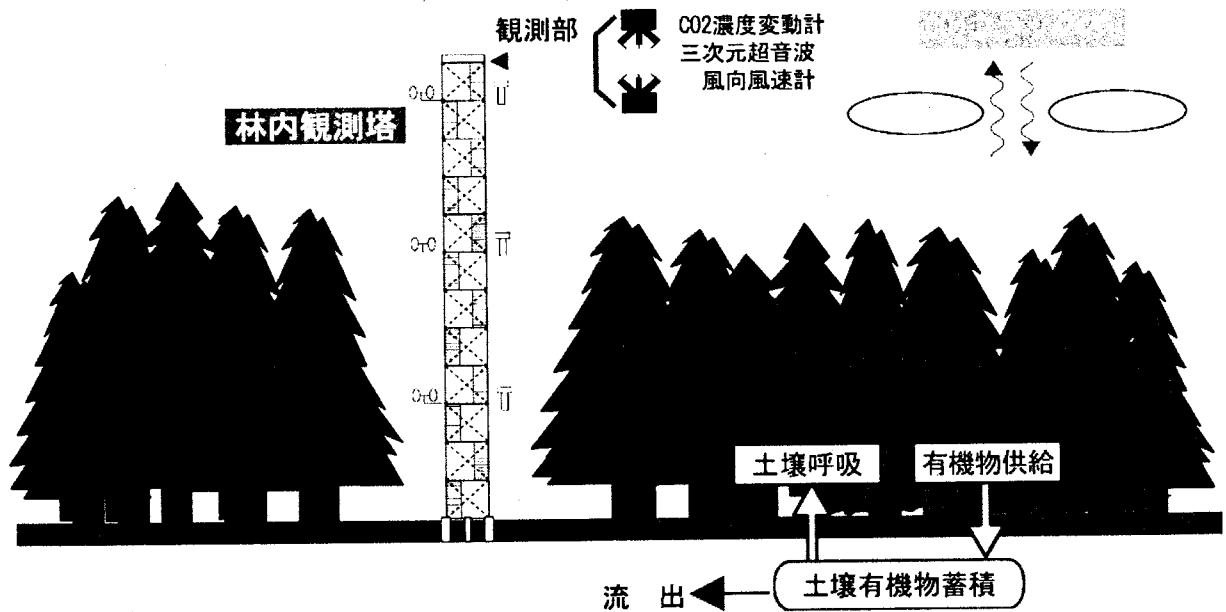


図 3-1 基本的な観測概念図

②二酸化炭素フラックス観測手法の検証

苫小牧サイトにおいては、本格観測と平行して、本研究の基本となる二酸化炭素フラックスのデータ取得に際し、観測手法及び観測高度の妥当性を検証した。

図 3-2 は、渦相関法による二酸化炭素フラックス計測に使用する二酸化炭素濃度計 2 種類、オープンパス法 (LI-COR 社製 LI-7500) 及びクローズドパス法 (LI-COR 社製 LI-6262) を用いた比較である。一般的にオープンパス法は精度が高いが、悪天候下での欠測、誤差が大きいが、本結果でもそのような傾向であった。本研究においては、悪天候下でキャンペーン観測を実施することができないため、比較的良天候下での結果が重視されるため、オープンパス法での結果を使用することとした。

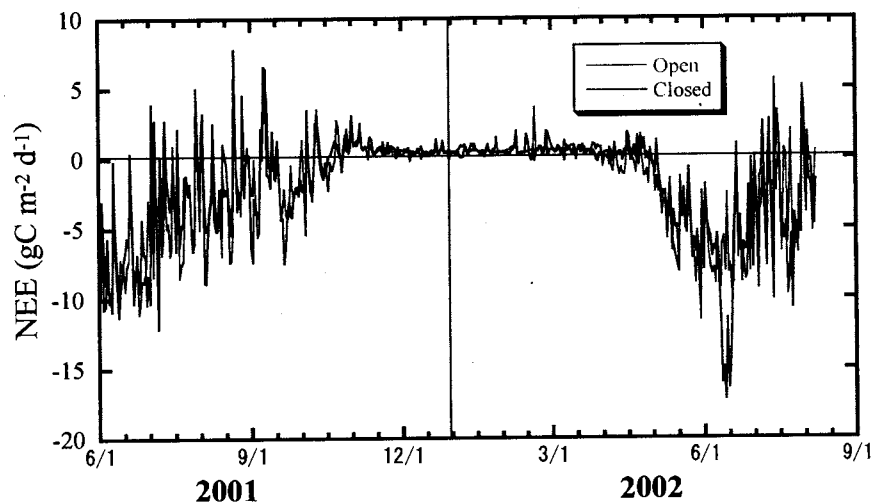


図 3-2 2 種類の二酸化炭素濃度計を用いた二酸化炭素フラックス比較

図 3-3 は、42m と 27m においてオープンパス法を用いて計測した二酸化炭素フラックス、顕熱フラックス、及び潜熱フラックスの比較である。42m の計測値の方が 27m に対して値が低いことが示された。これは、フットプリントが異なることによる実際の挙動の差異が原因とも考えられるが、観測塔に風が当たり吹き上げることにより、42m の計測値の誤差が大きくなっていることが主な原因と考えられた。したがって、苫小牧サイトにおいては 27m の計測値を使用することとした。

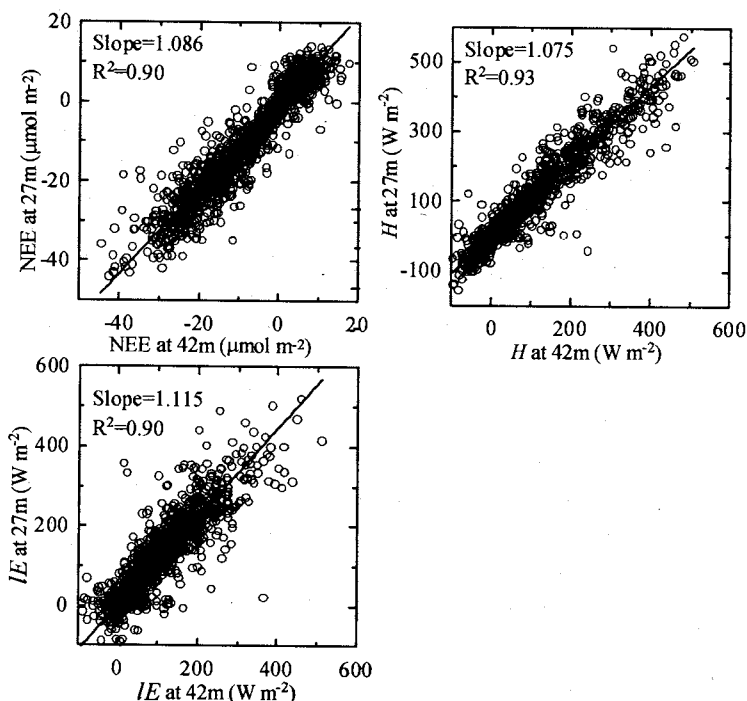


図 3-3 42m と 27m での二酸化炭素・顕熱・潜熱フラックスの比較

③ 苫小牧フラックスリサーチサイトにおける観測結果

二酸化炭素フラックスは、前述の通り観測塔 27m の地点において観測した。使用した機器は 3 成分超音波風速計 (Kaijo 製 DA-600TV) 及びオープンパス式二酸化炭素濃度計 (LI-COR 社製 LI-7500) であった。フラックス成分は 10Hz でデータロガーに記録し、傾斜補正を行った共分散値にセンサー長・センサー間距離の補正 (Kaimal, et al., 1972; Moor, 1986) 及び WPL 補正 (Web et al., 1980) を行なった。図 3-4 は、苫小牧サイトで観測した二酸化炭素フラックスである。カラマツの昼間は着葉期である 5 月から 10 月にかけて、森林が二酸化炭素の吸収源となっているが、落葉、積雪のある冬季においては呼吸などにより排出源となっていることがわかる。夜間は一年を通じて二酸化炭素の排出源となっているが、昼間は夏期のみ吸収源となっている。夜間においては、1 年を通じて二酸化炭素の排出源となっていた。結果を総合すると、苫小牧サイトにおいては 1 年当たり 2.5-3.5t/ha の炭素が森林によって固定されていることがわかった。これを大気輸送モデルにおけるカラマツ林の二酸化炭素吸収量の代表値として扱った。

なお、本研究が開始される前のデータについては、予備試験期間として国立環境研究所が独自にデータ取得を行っていたものである。使用した観測機器は、本研究に用いたオープンパス式二

酸化炭素濃度計とは異なる Data Design 社製 OP-2 であったが、これまで観測で得た知見により、データを補正して使用した。

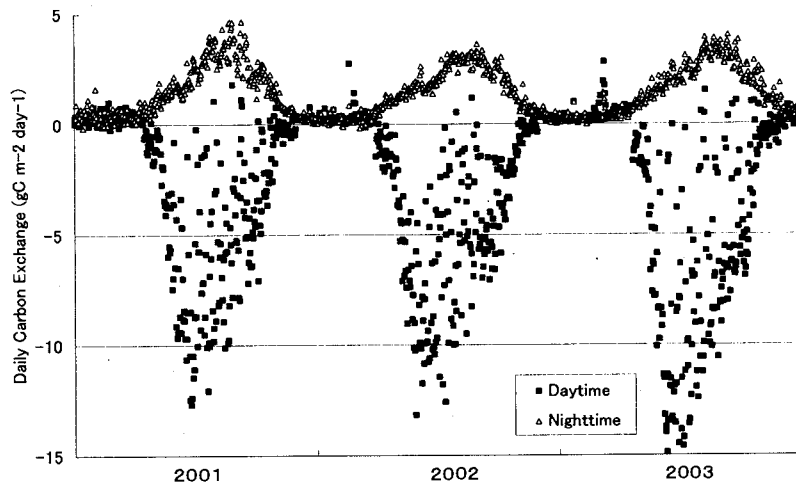


図 3-4 苫小牧サイトにおける二酸化炭素フラックス

図 3-5 は、苫小牧サイトにおける葉面積指数、光合成有効放射量、気温、土壌水分量及び降水量の経年変化である。これらの観測要素と二酸化炭素フラックスの関係から、他地域のカラマツ林における二酸化炭素フラックスを推定し、モデルに使用した。

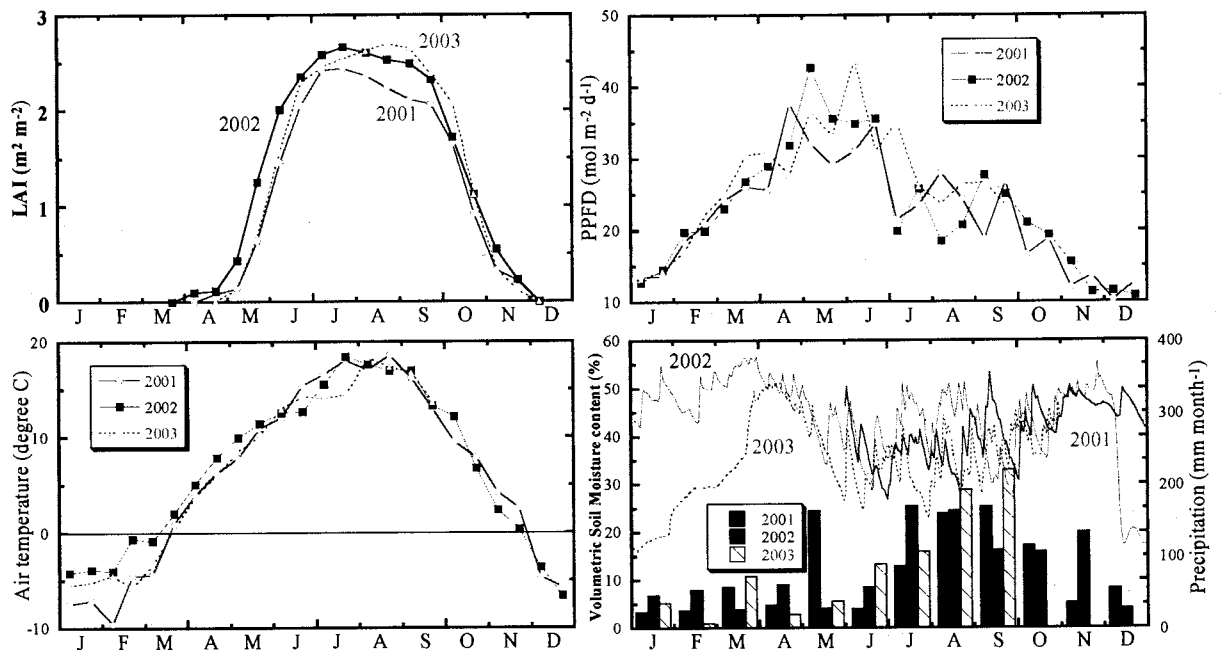


図 3-5 苫小牧サイトにおける各種観測要素の経年変化

④天塩 CC-LaG サイトにおける観測結果

二酸化炭素フラックスは、高度 32m のタワー最上部において、3 成分超音波風速計(DA600-3TV, Kaijyo)及び二酸化炭素濃度計(Data Design 社製 OP-2)を用いて測定した。フラックス成分は 10Hz でデータロガーに記録し、傾斜補正を行った共分散値にセンサー長・センサー間距離の補

正(Kaimal, et al., 1972; Moor, 1986)及びWPL補正(Web et al., 1980)を行なった。図3-6は、2002年度における針広混交林状態での二酸化炭素フラックス (NEE)、生態系一次生産量 (GPP) 及び生態系呼吸量 (RE) の季節変化である。天塩サイトにおいては、1年間の炭素固定量は1t/haを下回り、苫小牧サイトの炭素固定量を大きく下回ることがわかった。本データを、大気輸送モデルにおける針広混交天然林の二酸化炭素吸収量の代表値として扱った。

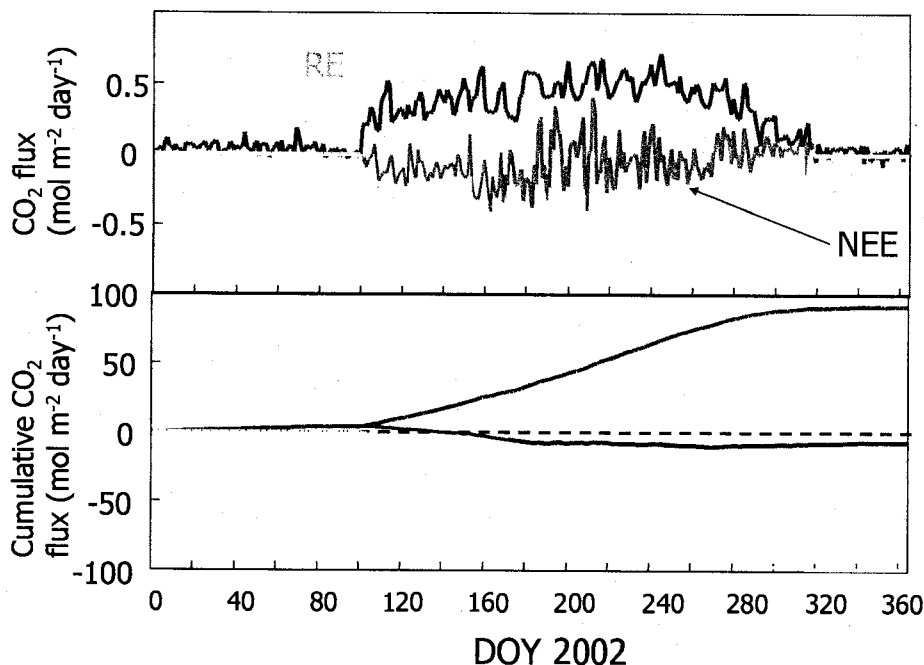


図3-6 天塩サイトにおける二酸化炭素フラックス

図3-7に天塩サイトの観測塔32mで観測した二酸化炭素濃度の経年変化を示した。天塩の32m観測塔頂部で観測された二酸化炭素濃度の季節変化である。天塩の二酸化炭素濃度は苫小牧と比較してばらつきが大きいことがわかった。これは、苫小牧が比較的平坦な地形であるのに対し、天塩は比較的複雑な地形で、風向風速や温湿度等によってセンサーに到達する空気塊が入れ替わり、二酸化炭素濃度の変動が大きいことが原因と考えられる。これらの結果から、モデルに代入する二酸化炭素フラックス及び二酸化炭素濃度のデータについては、地形を考慮することとした。また、天塩サイトで観測した各種気象要素についても、モデルへの組み込みを行った。

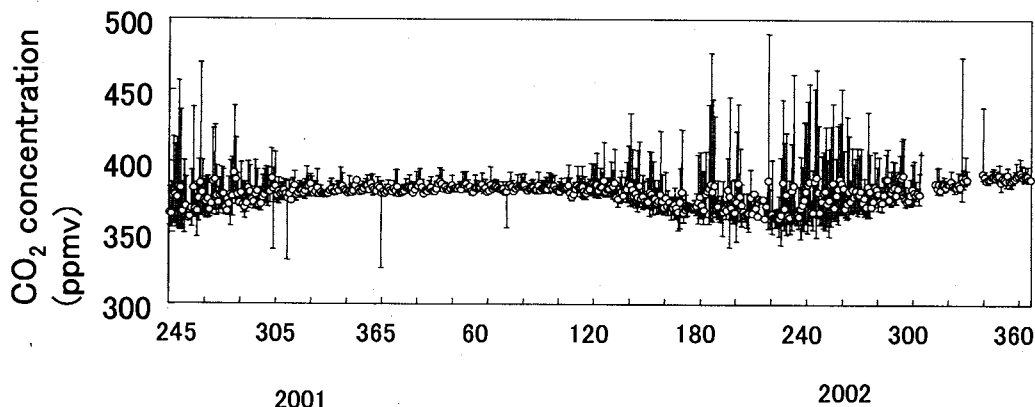


図3-7 天塩サイトで観測した二酸化炭素濃度の経年変化

(3) 大気輸送交換モデルでの二酸化炭素濃度分布推定

キャンペーン観測を実施する時期における二酸化炭素濃度の分布を推定した。この結果をキャンペーン観測の時期、日時、気象条件等の選定に使用した。

①計算モデル

キャンペーン観測を行うための参考とするため、苫小牧から石狩湾に至る石狩平野周辺を対象に、夏季の典型的な気象条件下における二酸化炭素濃度分布の計算を行った。

計算は Kondo et al¹⁾ に準じて行った。このモデルは、静水圧近似方程式系を基にした力学方程式系によって気流と温位の計算を行い、計算された気流に基づいて二酸化炭素の移流拡散を計算した。計算領域は、北海道全域を計算する外側領域(約 10km メッシュ)と、道央部を詳細に計算する内側領域(約 2.5km メッシュ)に分けて 1-way ネスティングを行った。内外領域とも鉛直方向には 5.5km 上空まで考慮し、地上付近では 20m 程度の格子間隔を用い、上空では 200m 程度の格子間隔の可変長格子を用いた。鉛直座標は地形に沿ったいわゆる地形座標系であり、大気境界層内の鉛直拡散には Gambo の closure model²⁾ を使用した。地表面条件は国土数値情報に基づいて 12 種類の地形と地表面条件を考慮し、それぞれについて熱収支式を解いて大気側に与えられる顕熱・潜熱等を計算した。ここでは気象条件については定常な地衡風を仮定して、夏季に出現する可能性の大きい 5 風向について計算を行い、道央部における典型的な二酸化炭素の拡散について計算を行った。具体的なモデルについては、以下の通りである。

ア. 1 気象モデル

ここで用いた気象モデルは、静水圧近似、地形座標、Boussinesq 近似方程式を用いた AIST-MM である²⁾。このモデルを気象庁の領域スペクトルモデル(RSM)、またはメソスケールスペクトルモデル(MSM)の GPV 予報値を境界条件および nudging データとして用いて実際の気象条件を計算する。基本方程式系は

$$\frac{\partial(Du)}{\partial t} + \frac{\partial(Duu)}{\partial x} + \frac{\partial(Duv)}{\partial y} + \frac{\partial(Dus)}{\partial s} - fDv = -c_p \Theta D \left\{ \frac{\partial \pi}{\partial x} - (s-1) \frac{\partial D}{\partial x} \frac{g\theta}{c_p \Theta^2} \right\} + K_{ux} D \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + K_{uy} D \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{1}{D} \left(\frac{\partial}{\partial s} K_M \frac{\partial u}{\partial s} \right)$$

$$\frac{\partial(Dv)}{\partial t} + \frac{\partial(Dvu)}{\partial x} + \frac{\partial(Dvv)}{\partial y} + \frac{\partial(Dvs)}{\partial s} + fDu = -c_p \Theta \left\{ \frac{\partial \pi}{\partial y} - (s-1) \frac{\partial D}{\partial y} \frac{g\theta}{c_p \Theta^2} \right\} + K_{vx} D \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + K_{vy} D \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{1}{D} \left(\frac{\partial}{\partial s} K_M \frac{\partial v}{\partial s} \right)$$

$$\frac{\partial(Dq_v)}{\partial t} + \frac{\partial(Dq_v u)}{\partial x} + \frac{\partial(Dq_v v)}{\partial y} + \frac{\partial(Dq_v \dot{s})}{\partial z} = K_{qx} D \frac{\partial^2 q_v}{\partial x^2} + K_{qy} D \frac{\partial^2 q_v}{\partial y^2} + \frac{1}{D} \left(\frac{\partial}{\partial z} K_H \frac{\partial q_v}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial(Du)}{\partial x} + \frac{\partial(Dv)}{\partial y} + \frac{\partial(D\dot{s})}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial z} = \frac{g \theta_v}{c_p \Theta^2}$$

である。ここで、

$$s = \frac{z - z_G}{z_T - z_G}, D = z_T - z_G, \quad \dot{s} = \left[w - u \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right) - v \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right) \right] \frac{\partial}{\partial z}$$

z_T, z_G はそれぞれ計算領域の上端高度と地表面高度である。 u, v, w はそれぞれ風速の東西、南北、

鉛直成分、 f はコリオリパラメータ、 θ_v は仮温位、 q_v は比湿、 Q_A は人工廃熱である。鉛直拡散係数 K_M, K_H については Gambo(1978)³⁾の方法を用いている。水平拡散係数は、数値振動を防ぐ目的で導入した⁴⁾。

計算は、RSM 値または MSM 値（次節参照）を用いてまず領域 1（図 1）について約 10km 格子で計算を行い、このデータを基に one-way ネスティングを施して石狩平野周辺の領域 2 を約 2km 格子で計算した。

イ. 2 移流拡散モデル

二酸化炭素については非反応物質として扱い、移流・拡散のみを考慮した。

$$\frac{\partial(DC)}{\partial t} + \frac{\partial(DCu)}{\partial x} + \frac{\partial(DCv)}{\partial y} + \frac{\partial(DC\dot{s})}{\partial z} = K_{cx} D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + K_{cy} D \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{1}{D} \left(\frac{\partial}{\partial z} K_H \frac{\partial C}{\partial z} \right) + Q_c$$

ここで、 C は二酸化炭素、 Q_c は二酸化炭素の発生・吸収源である。鉛直拡散係数は温位の場合と同様とした。二酸化炭素の計算では濃度の絶対値ではなく、バックグラウンドからの相対値を計算した。なお、二酸化炭素の発生源・吸収源は大規模工場発生源を除き、地上 10m に設定した。

計算領域を図 4-1 に示す。

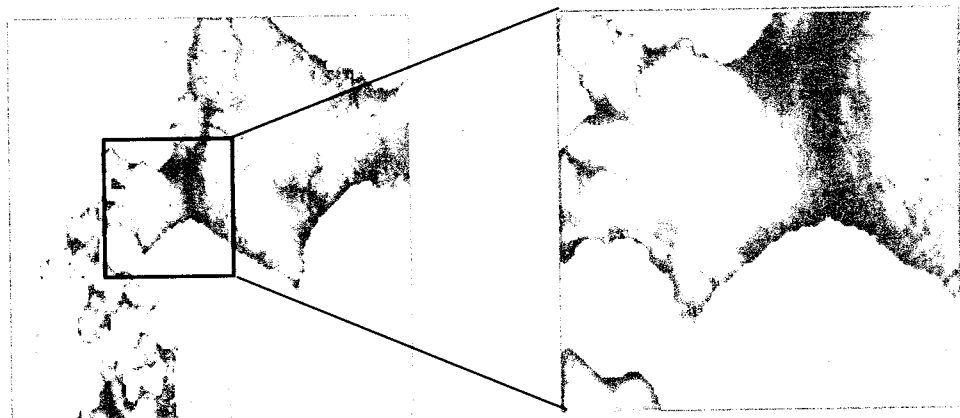


図 4-1 計算領域 (左：領域 1、右：領域 2；濃淡は標高を表す)

②二酸化炭素発生・吸収源

二酸化炭素濃度分布を計算するためには、人為起源の二酸化炭素発生源（主として化石燃料の消費による）と自然起源の吸収・発生源をモデルに導入する必要がある。二酸化炭素の人為的発生源については、平成 13 年度に整備した基礎データを用い、10km メッシュ（二次メッシュ）で与えた¹⁾。大規模工場については三次メッシュの精度で位置を与えた。また CONCAWE の式²⁾を用いて煙上昇を計算し、その高度に二酸化炭素を排出した³⁾。

植生からの二酸化炭素の吸収・放出量 A については次のように与えた。

$$A = \frac{bI}{1+aI} - R, R = R_1 Q^{\frac{T-T_1}{10}} \quad (1)$$

ここで、 I は光合成有効放射量であるが、ここでは日射量に等しいとし、モデルでの計算値を与えた。 R は生態系の呼吸量、 T は気温である。 a 、 b は植生毎に決められる定数であるが、本研究で取得した森林のデータは樹種が限られているものであるため、見取得のデータについては Schulze et al.⁴⁾を参考として表 4-1 のように与えた。また高山地区における観測値と苫小牧フラックスリサーチサイトにおける夜間の二酸化炭素放出測定値を参考として $R_1=0.204\text{mgCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、 $Q=2.5$ 、 $T_1=10^\circ\text{C}$ ⁵⁾とした。また海洋における二酸化炭素の吸収・放出は考慮に入れていない。

表 4-1 各植生の定数

No.	土地被覆	a $\text{J}^{-1} \text{sm}^2 \times 10^{-4}$	b $\text{mgCO}_2 \text{J}^{-1} \times 10^{-3}$
1	常緑広葉灌木	6.80	0.79
2	常緑針葉樹	6.80	1.71
3	落葉針葉樹	6.80	0.95
4	落葉広葉樹	6.80	1.72
5	常緑広葉樹	6.80	1.01
6	針広混交林	6.80	1.15
7	温帯草地	6.80	1.92
8	湿原	6.80	0.42
9	畑地	6.80	2.70
10	水田	6.80	2.08

③推定結果

計算は外側領域について一定値の地衡風を与え、内側領域には風向、風速、温位、比湿、二酸化炭素濃度を 1-way nesting を用いて引き渡した。地衡風向は、北海道の夏期における主風向である南東、南、南西、西、北西の 5 風向とし、地衡風速はそれぞれ 10m/s とした。

計算結果の例として、夏の条件を入れ、地衡風向を南風とした場合の結果を図 9 及び図 10 に、地衡風向を西風とした場合の結果を図 11 及び図 12 に示す。ここで天気は晴天、雲量 3 程度を仮定し、午後 4 時の地上風向風速及び二酸化炭素濃度分布を推定した。

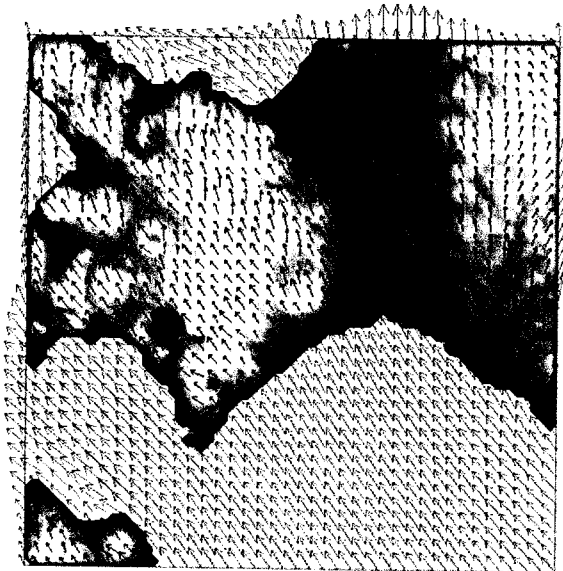


図 4-2 南風地衡風 10m/s を仮定した場合の地上風向風速(16時)

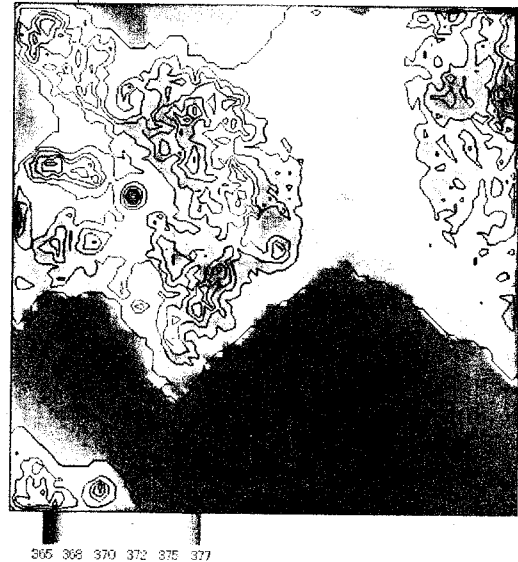


図 4-3 (図 4-2)の気象条件下で計算した 地上二酸化炭素濃度



図 4-4 西風地衡風 10m/s を仮定した場合の地上風向風速(16時)

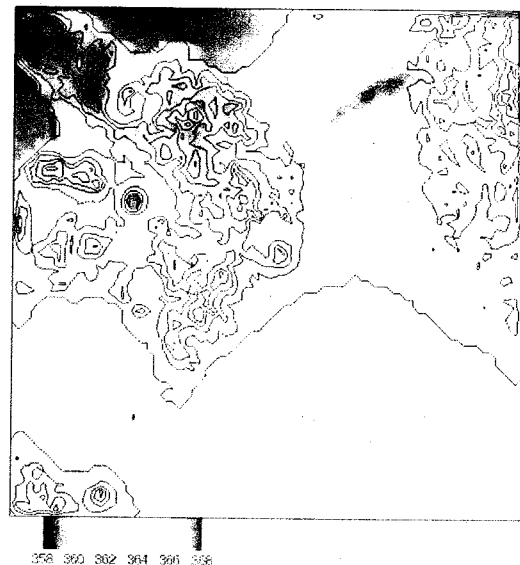


図 4-5 (図 4-4)の気象条件下で計算した 地上二酸化炭素濃度

図 4-3 において、石狩平野中央部と室蘭市の北側に二酸化炭素濃度の高濃度分布が見られるが、前者は苫小牧周辺の火力発電所及び周辺工業地域から排出された二酸化炭素、後者は室蘭周辺の製鉄所及び周辺工業地域から排出された二酸化炭素に対応している。また、図 4-5 における石狩平野中央部の高濃度分布は、札幌市周辺から排出される二酸化炭素に対応する。

地衡風が南風の場合、地上風も石狩平野の両側の山に沿って流れる傾向にあるため（図 4-2）、二酸化炭素は気団の通過と共に拡散するという挙動を示す。したがって、二酸化炭素濃度推定が比較的容易であることが判明した。この場合、苫小牧にある工場群の煙突（標高 150m~200m）から排出された高濃度の二酸化炭素は、石狩平野中央部において地表面で観測される（図 4-3）。一方、地衡風が西風の場合、地上風は石狩湾（北側）と太平洋（南側）の両方から進入し、石狩平野内の挙動は極めて複雑である（図 4-4）。したがって、二酸化炭素濃度分布もばらつきが極めて大きく（図 4-5）、少しの条件の違いで結果が大きく左右されることがわかった。

本解析により、風向が南、南西、北東の場合は、気団が石狩平野を東西の山に沿って抜けるため、二酸化炭素の拡散がスムーズに行われることがわかった。一方、風向が南東及び西の場合は、地上風が極めて複雑な挙動を示し、二酸化炭素の滞留等の複雑な要因が発生することが判明した。この結果に従い、キャンペーン観測を実施した。

（4）キャンペーン観測による当該地域の大气中二酸化炭素の動態解明

対象領域の二酸化炭素収支を測定するには、風上・風下の二酸化炭素濃度の鉛直断面を測定する必要がある。風上・風下で異なった空気塊を測定する必要がある。したがって、実際の観測では同じエアーマスを測定することに焦点を絞り、民間小型航空機による二酸化炭素濃度の鉛直断面濃度を把握することに焦点を絞り、キャンペーン観測を行った。

対象地域は、民間航空機の離発着量が多い新千歳空港や航空自衛隊の演習地などが点在している。したがって、飛行ルートやパターンの選定及び関係諸機関との調整等を慎重に行った。

①航空機搭載型二酸化炭素濃度計の改良

同じ空気塊を測定する場合、二酸化炭素濃度を 0.2ppm の精度で測定する必要がある。また、小型航空機に搭載するため、容積が 0.1 立方メートルとなる程度まで小型化する必要がある。したがって、国立環境研究所地球環境研究センターが従前開発した航空機搭載型軽量小型のセンサーを以下の点で改良した。

- ・ 内蔵するセンサーの変更による小型化 (LI-6262 → LI-820)
- ・ 2 種類の標準ガスでの適宜校正による精度向上
- ・ バックプレッシャーバルブでの応答調整によるセル内圧力安定化
- ・ 電池（電源）の強化及び安定化電源によるノイズの減少
- ・ スーツケース型容器に収納させることによる小型軽量・携帯型化

以上の改良により、精度を約 0.2ppm まで高めることができ、用途に供することが可能となった。

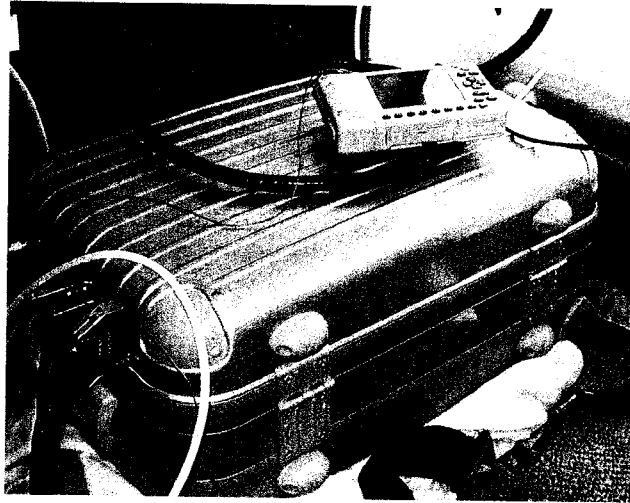


写真 5-1 改良した航空機搭載型二酸化炭素濃度計
この中に標準ガスを含めて全機器類が収納されている。

②2002 年度観測結果及び考察

ア. 観測方法

観測は、森林・草地で植物による光合成活動が存在する夏期（9月16日）と、二酸化炭素の収支量が人為起源の影響のみに依存する冬期（2月24、25日）に実施した。観測場所や飛行ルート等の選定にあたっては、前述の大気輸送交換モデル解析による推定結果を用いた。

9月16日の観測については、気団が石狩平野を南北に通過する理想的な条件である、地衡風向が南、南西、北東である条件を選定して観測日を決定した。観測日の決定に際しては、GPV予報地による気象データ、及び気象庁発表の天気予報データを用いた。飛行ルートは、気団の通過時間を考慮に入れ、苫小牧側太平洋岸と札幌側石狩湾岸を4高度の水平飛行により、二酸化炭素濃度の鉛直分布を観測した。観測は苫小牧側太平洋岸を2回、札幌側石狩湾岸を1回、計3回行った（図5-1）。

一方、冬季のキャンペーン観測については、二酸化炭素の大規模排出源である札幌を重点的に観測し、札幌市を中心とする半径10kmの円上を4高度で飛行し、二酸化炭素の鉛直分布を測定した（図5-2）。観測日の選定にあたっては、冬期は降雪による視界不良のため、小型航空機の飛行が可能であるのは晴天日（無降雪日）に限られている。したがって、晴天日の可能性が高く風速が弱い、移動性高気圧に覆われる気象条件を選定した。観測は計3回行った。また、

冬期の観測においては、風向風速の鉛直分布を把握するため、1時間に1回の頻度で札幌丘珠空港内においてパイロットバルーン観測を行った。

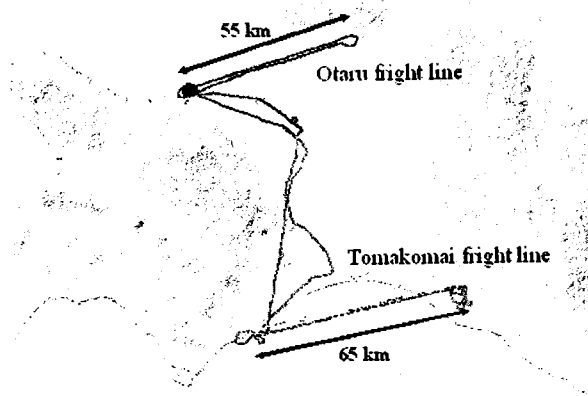


図 5-1 2002 年 9 月 16 日の飛行コース

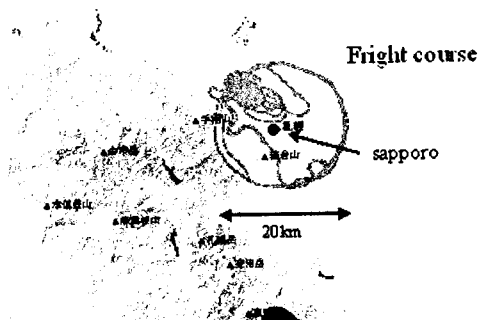


図 5-2 2003 年 2 月 24 日の飛行コース

冬期の観測においては、風向風速の鉛直分布を把握するため、1 時間に 1 回の頻度で札幌丘珠空港内においてパイロットバルーン観測を行った。

イ. 夏期観測結果

図 5-3 に、9 月 16 日の苫小牧側第 2 フライトの二酸化炭素濃度分布観測結果を示す。第 1 フライトを行った午前中の苫小牧地域の地上風は北風であり、苫小牧沿岸地域に存在する工場起源の二酸化炭素排出量の影響が顕著に見られた。第 2 フライトを行った時間帯から地上風は南風成分に変化した。二酸化炭素濃度の水平分布を見ると、位置 40km 付近を中心に非常に高い濃度が観測された。これは、午前中にかけて北風によって海洋上に移流した高二酸化炭素濃度の空気塊が、南風によって再び陸域へ移流してきたものと考えられる。高度 2200m は自由大気であり、高度 1400m 以下の大気境界層内の二酸化炭素濃度よりも高かった。また、全体的に低い高度であるほど大気境界層内の二酸化炭素濃度は高くなった。

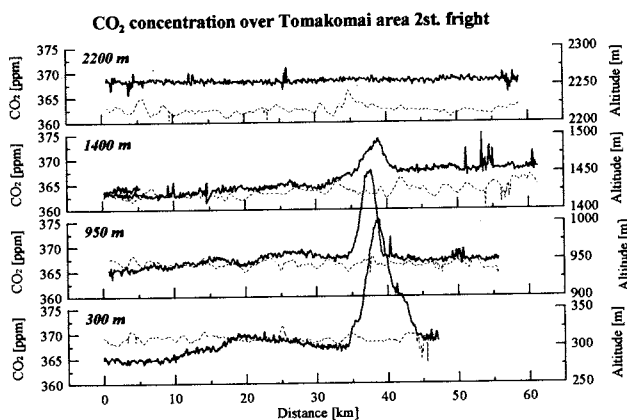


図 5-3 9 月 16 日苫小牧側第 2 フライトにおける高度別二酸化炭素濃度

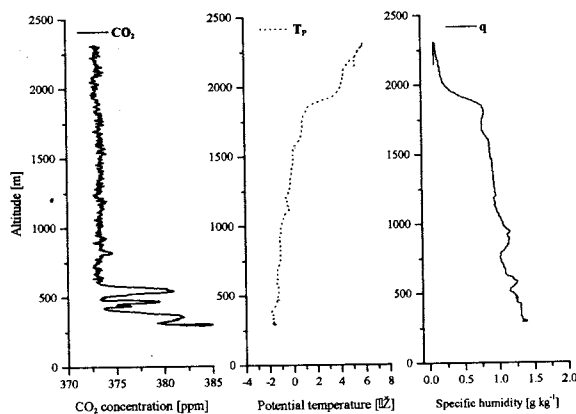


図 5-4 9 月 16 日 14 時の苫小牧側西端での二酸化炭素濃度、温位、比湿の鉛直分布

また、局所的に存在する二酸化炭素の高濃度域以外でも、特に高度 1400m において、二酸化炭素濃度が東ほど高くなっていた。しかしながら、今回は風向・風速の鉛直分布に関するデ

ータを取得していないため、この大気塊がどのような地域の影響を受けていたものかを推測することが難しい。仮に、第2フライト観測時の風向が全層にわたり南成分であったとしても、陸域に流入する空気塊が、それ以前における大気の流れ経路の影響を強く受けており、大気境界層内における二酸化炭素濃度の分布のちらばりが非常に大きいものであることがわかる。

図5-4に、苫小牧側フライトの西端（白老町上空）で実施した二酸化炭素濃度鉛直分布観測の結果を示す。二酸化炭素濃度の鉛直分布を見ると、濃度変動の大きな変化が高度1200m付近と1800m付近の2高度で確認された。高度1800mでは、温位や比湿にも大きな変化が確認されたが、1200m付近での温位や比湿には大きな変化が見られなかった。この二酸化炭素濃度鉛直分布に見られる濃度の層構造は、全体として上層の濃度が最も高く、ついで下層、中層の順に低くなっていた。このような二酸化炭素濃度の層構造が、どのようなことが原因で形成されたかは不明であるが、原因のひとつとして、海風による局地循環の影響が考えられる。晴天の日中は陸域地表面が加熱されるため、相対的に海洋上よりも空気が軽くなる。このため、相対的に重い海洋上の空気塊が陸に向かって流れる。この海洋上から陸上に流入する空気の流れに対し、その上空では海洋上に戻る空気の流れが生じる。このような空気は陸域での加熱の影響を受けており、それは同時に植物の光合成活動に好ましい条件でもある。つまり、海風に伴う上空の補償流は、光合成の影響を受けた二酸化炭素濃度の低い大気塊であると推測された。

ウ. 冬期観測結果

図5-5に2月24日11時から12時に観測した二酸化炭素濃度の高度別水平分布を示す。また、札幌丘珠空港における風向風速鉛直分布を図18に示す。およそ300mまでは、非常に弱

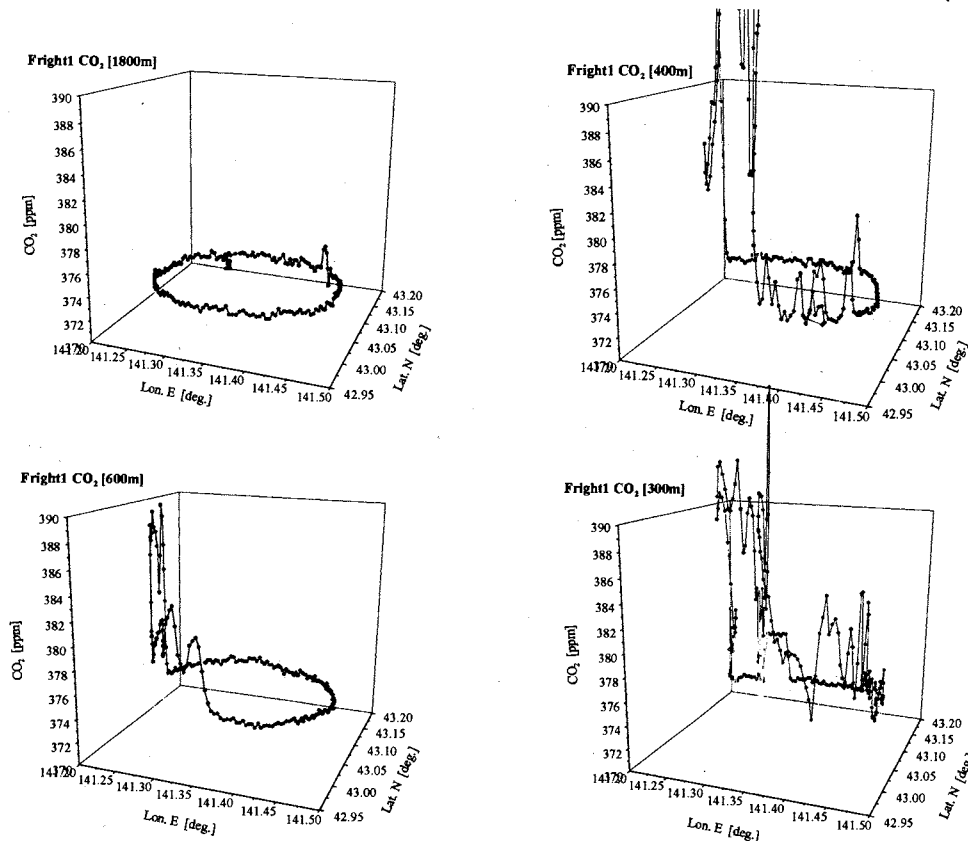


図5-5 2月24日11時~12時における二酸化炭素濃度の高度別水平分布(800, 600, 400, 300m)

い南東風で、それより上空では北西～北風となっていた。また高度 1000m 付近までの風速は $1 \sim 7 \text{ m s}^{-1}$ 程度と非常に弱かった。この風速鉛直分布については、放射冷却現象の影響と考えられた。

高度 1800m における二酸化炭素濃度は水平に均一であり、地表面の影響を受けていない海洋上を移流してきた大気であることが確認された。一方、低高度では西側において高二酸化炭素濃度が観測された。これは、地形の都合によるフライトコース変更により、札幌市西側において札幌市上空を飛行したため、都市熱により上昇した人為起源の二酸化炭素を観測したためと推測された。

また、札幌市中心部の風下側に相当するフライトコース南側においても二酸化炭素の高濃度域が観測された。この傾向は高度 300m の飛行で顕著に見られ、高度 600m には小さな変化しか見られない。これは札幌市において放出された二酸化炭素が北風により移流・混合された効果が、およそ 10km 風下側では、高度 600m 程度まではあまり及ばないことを示している。

高度 600m における二酸化炭素濃度は、札幌市西側で顕著に高い。しかしながら、この地点は、山を避けて市街地上空を飛行した高度 300m・400m と異なり、山麓部の上空に相当する。この高い二酸化炭素濃度の空気塊の起源は、その濃度から札幌市周辺部であることは確実であるが、丘珠空港で観測された風向・風速から考慮すると、札幌起源の二酸化炭素は南東側に移流するはずであり、本結果と矛盾する。しかしながら、当日の気象状態を考慮すると、この原因は局地循環の影響であることが推測される。札幌市西側の東向き山腹は、森林が存在するためアルベド（反射率）が小さく、日の出と共に日射を吸収し大気を加熱する。このため、山腹上は他の地域と比較して低気圧となり、地表面付近の大気は山腹方向へ移流する。つまり、札幌市内の高い二酸化炭素濃度である大気が西側へ移流し、山腹上で上空へ輸送されるものと考えられる。このような局地的循環の結果、札幌市西側の山腹上で高い二酸化炭素濃度が観測されたものと推測される。

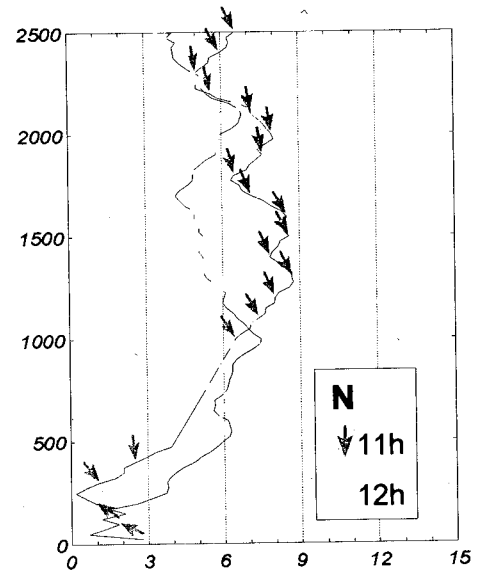


図 5-6 2月24日11時及び12時における風向風速鉛直分布

③2003年度観測結果及び考察

ア. 観測方法

図 5-7 に 2003 年 7 月 23 日の苫小牧側および札幌側の二酸化炭素濃度水平分布観測フライトコースを示す。観測当日の気象庁 GPV 予測値は南成分の風が卓越することを指摘しており、海洋方向からの空気塊が北海道内を吹走し、苫小牧—札幌エリア陸域生態系における二酸化炭素吸収による濃度変化を観測する好条件であった。観測当日は予測どおりに、オホーツク海高気圧から吹き出す南東風が卓越する条件であったが、発達したオホーツク海高気圧からの湿潤で冷たい空気の流入により、苫小牧エリアでは低い高度に雲が存在し、時より降雨が観測された。一方札幌側エリアの東側では、苫小牧エリア同様に低い高度に雲が存在したが、西側は晴

天であった。また地上付近では日中 10m/s を超える強い風が観測された。

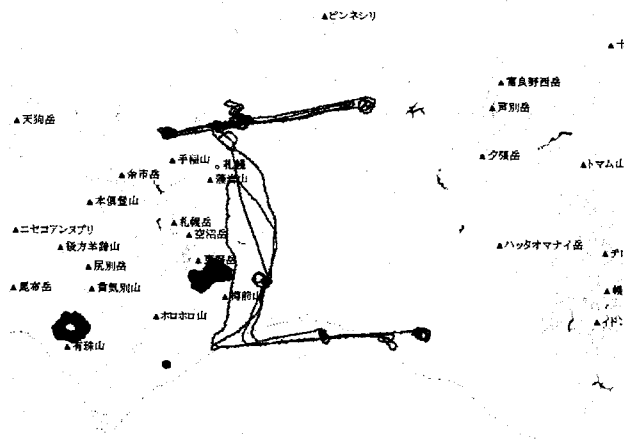


図 5-7 2003 年 7 月 23 日の飛行コース

イ. 苫小牧側観測結果

図 5-8 上段に 2003 年 7 月 23 日の苫小牧側および札幌側フライトの二酸化炭素濃度分布観測結果を示す。標準ガスを用いた校正のデータも合わせて示す。各高度における値が誤差 1~2ppm 程度に抑えられていることが分かる。海洋方向からの二酸化炭素濃度には、観測エリアにおいて水平方向にも高度 8000ft (約 2400m) までの鉛直方向にも顕著な差が存在せず、非常に均一な状態であった (約 370ppm)。しかしながら、温位 (図 5-9) と比湿 (図 5-10) には、鉛直方向に顕著な違いが観測された。特徴的なのは、低い高度には温位が低く湿度の高い大気が存在し、高い高度では対照的に、温位が高く観測した大気が存在することである。

図 5-11 左図に苫小牧側の白老沖で観測された鉛直プロファイルの結果を示した。高度 500~1300m でデータが欠測しているのは、この高度に雲が存在しておりフライトが不可能であったことによる。二酸化炭素濃度は高度 1500~2000m 付近で若干変化があるものの、鉛直方向の二酸化炭素濃度が連続して一定濃度であることがわかる。一方、温位 (TP) と比湿 (q) は、雲の存在する高度を境界に明確に異なっている。つまり、地表面付近に存在する大気は、オホーツク海高気圧からの非常に寒冷で湿潤な大気であることが明確に示されている。これらの結果は、鉛直方向には異なる大気が存在するものの、それぞれ二酸化炭素濃度に関しては大きな吸収-放出過程の影響を反映していないものであることを示している。

ウ. 札幌側観測結果

札幌側の高度別二酸化炭素濃度水平分布観測結果を図 5-8 下段に示す。位置にして 10~40km エリアの高度 4000ft (約 1200m) 以上の高度の大気を除き、二酸化炭素濃度は低下しており、陸域における二酸化炭素の吸収過程を受けていることが示されている。特に位置にして 0~10km、40~55km 付近の二酸化炭素濃度が顕著に低下しており、最も低いところでは約 360ppm となり、苫小牧側で観測された濃度よりも約 10ppm 低下している。10~40km エリアにおいても 1500ft (約 750m) 以下で数 ppm の濃度低下が捉えられている。温位と比湿の高度別水平分布 (図 5-9, 5-10 下段) は、鉛直方向には苫小牧側と同様の傾向が存在し、1500ft 以下は寒冷で湿潤な大気が存在していた。一方で札幌側フライトの両サイドで見られた二酸化

炭素濃度の変化に対応して温位・比湿にも水平方向における変化が存在した。

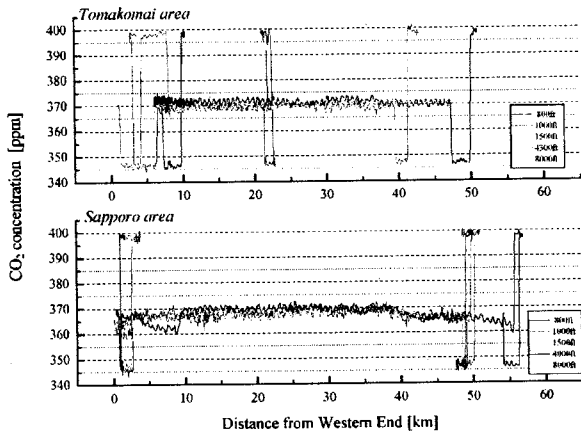


図 5-8 高度別二酸化炭素濃度水平分布観測結果
(上図)：苫小牧側，(下図)：札幌側の結果

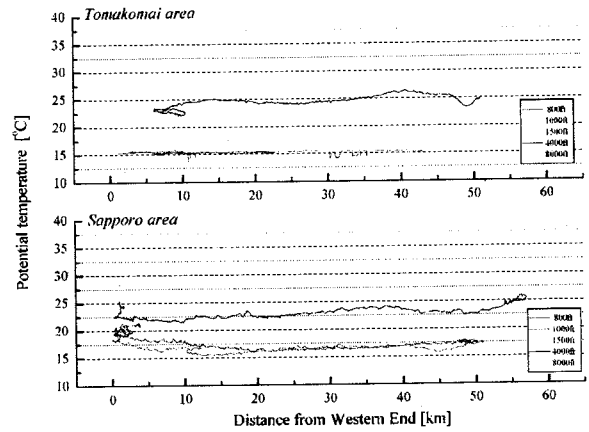


図 5-9 高度別温位水平分布観測結果
(上図)：苫小牧側，(下図)：札幌側の結果

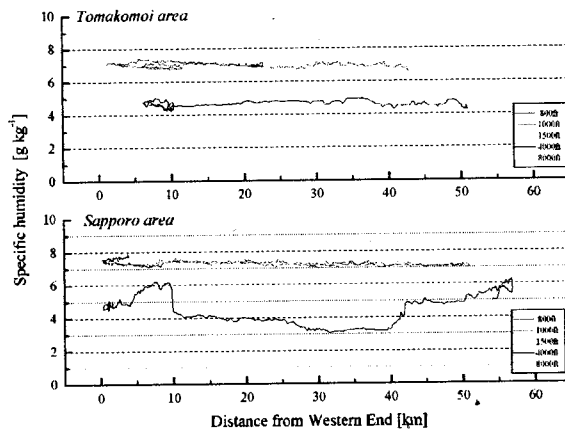


図 5-10 高度別比湿水平分布観測結果 (上図)：苫小牧側，(下図)：札幌側の結果

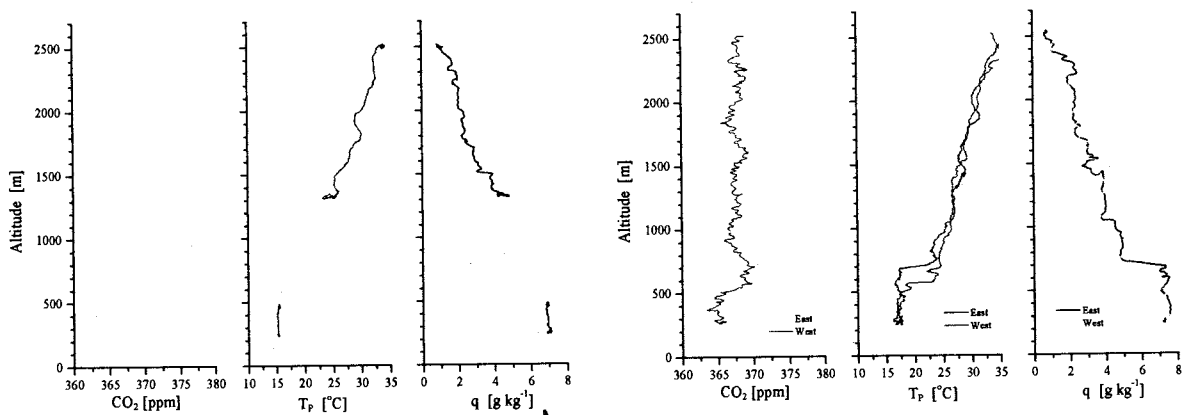


図 5-11 二酸化炭素濃度・温位 (T_p)・比湿 (q) 鉛直プロファイル観測結果
(左図)：苫小牧側，(右図)：札幌側の結果

図 5-11 右図に札幌側で観測された鉛直プロファイルの結果を示す。プロファイルはおよそ 15km (West) と 20km (East) の位置、計 2 箇所所で測定した。East は雲が存在する地域の東

端にあたり、West では低層雲存在しない晴天の地域であった。温位 (Tp) と比湿 (q) のプロファイルから分かるように、地表面付近に存在する寒冷湿潤大気の厚さは約 700m であり、苫小牧側と比較してかなり低くなっている。この下層大気上端の境界付近において、二酸化炭素濃度に変化が存在した。地表面付近の二酸化炭素濃度は上層よりも低く、下層大気が地表面で生じた二酸化炭素吸収の影響を受けていることを示している。

2 箇所のプロファイルを比較すると雲存在する地域に近い East の下層大気の厚さは、West と比較して若干高くなっている。この結果は地表面の影響を受けた大気層厚に、水平的な分布が存在することを示唆するものである。一方、水平濃度分布に見られた観測エリア両端付近の低濃度は、地域的な二酸化炭素吸収量の差異に起因するものと考えられる。札幌側フライトコースの両端付近は、札幌市近郊の山岳地域にかかっており、また畑作地域が広範囲にわたって存在する。このため、札幌市中心部の風下地域と比較して、より顕著な二酸化炭素吸収の影響を反映しているものと考えられる。つまり、北海道内陸域生態系における二酸化炭素吸収の影響を受けた大気は、地表面状態やオホーツク高気圧の勢力範囲の差異により、風下側において顕著な水平-鉛直分布を形成することが分かった。

(5) キャンペーン観測とモデル計算結果の比較検証

① 外側領域情報としての RSM と MSM の比較

RSM (Regional Spectrum Model) と MSM (Meso-Scale Model) は気象庁の現業予報モデルであり、2002 年 6 月よりオンライン配信されている。双方とも同じモデルであるが、格子分解能が異なり、RSM は地上では 0.2×0.25 度の分解能で 1 時間毎、上空 0.4×0.5 度の分解能で 3 時間毎のデータが配信され、予報時間は 51 時間である。地上付近の鉛直分解能は地上、950, 925, 850, 700, 500hPa である。一方、MSM は地上については 0.1×0.125 度の分解能で 1 時間毎、上空については 0.2×0.25 度の分解能で 3 時間毎のデータが配信され、予報時間は 18 時間である。地上付近の鉛直分解能は、地上、975, 950, 925, 900, 850, 800, 700, 500hPa である。今回の計算では双方とも 500hPa までのデータを使用した。また各予報値の配信は 1 2 時間おきなので、初期値から 1 2 時間先まで予報データを用いた。

はじめに外側領域の情報として RSM と MSM のどちらを用いるべきかを定めるため、10km 格子 AIST-MM モデルを用いて領域 1 で計算を行い、苫小牧フラックスリサーチサイトでの測定結果と比較した。計算範囲は北緯 40 度 40 分～44 度 40 分、東経 139 度～144 度の範囲である。計算は 2002 年 9 月 13 日 9:00 より開始し、9 月 17 日 9:00 までの結果を比較した。図 6-1 に 9 月 16 日 6:00 の地上風の計算結果を示す。a が RSM を用いた結果、b が MSM を用いた結果であるが、分解能が異なるだけの同じモデルから情報を得ているにもかかわらず計算された地上風は大きく異なり、特に襟裳岬沖では風向がほぼ逆向きである。図 6-2 には長波および短波放射量と苫小牧 FRS フラックスタワー 40m 高度の気温の比較を示す。また図 6-3 には 40m での風向風速の比較を示す。短波放射量は過小評価の傾向が双方のモデルの結果で出ているが長波放射については MSM を用いた方が若干実測との追従がよい。また、夜間の気温の低下についても MSM を用いた方が夜間冷却をよく再現している。また、風向風速についても MSM を用いた方が実測との一致がよい。従って以下の計算では MSM を外側領域の情報として用いる。

a



b



図 6-1 RSM を用いて計算した地上風(a)、MSM を用いて計算した地上風(b)
9月16日6:00の計算結果。

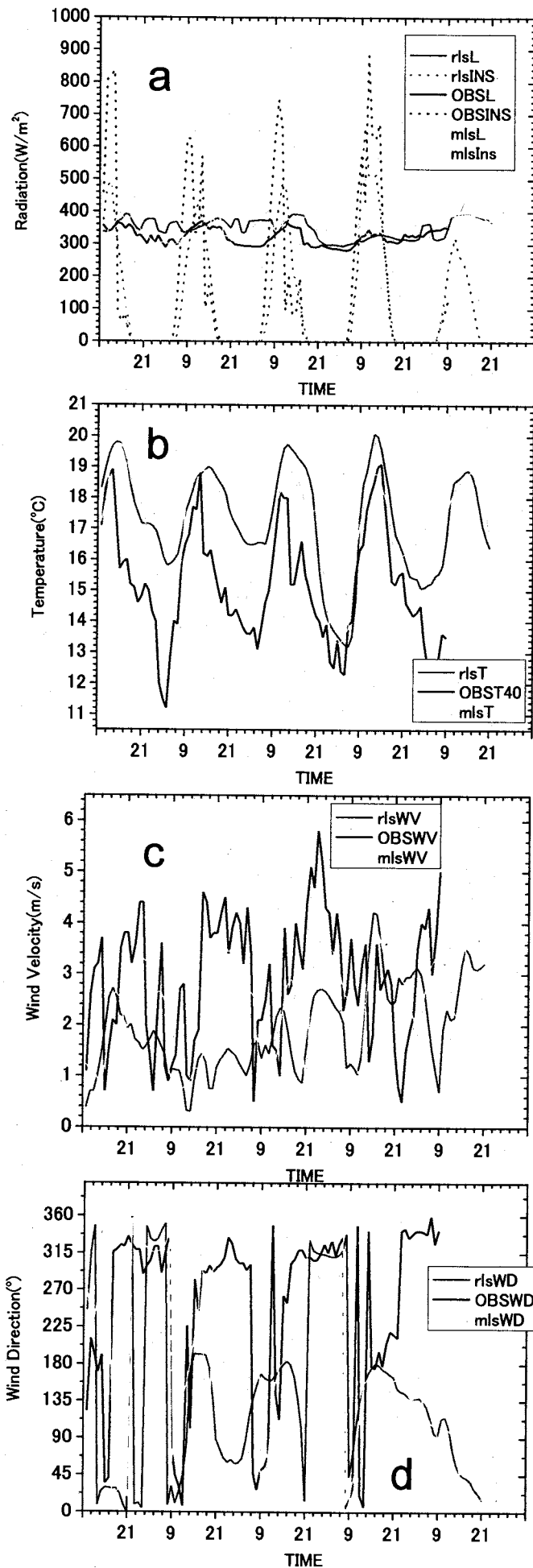


図 6-2 2002 年 9 月 13 日 9 時から 17 日までの計算結果と苫小牧 FRS40m タワーでの測定値の比較。a)短波・長波放射量、b)気温、c)風速、d)風向。黒が観測、濃灰色が RSM を使用した場合、淡灰色が MSM を使用した場合である。

②航空機観測との比較検証・バックトラジェクトリ

2002年9月16日に行った航空機観測の結果を図6-3に示す。この日の観測のうち14:00から苫小牧側で行った二酸化炭素濃度鉛直プロファイルの観測および16:42から小樽側で行った観測では上空1500m付近と1700m付近に二酸化炭素濃度の極小が観測された。この極小値について気象モデルを用いてバックトラジェクトリを解析した。

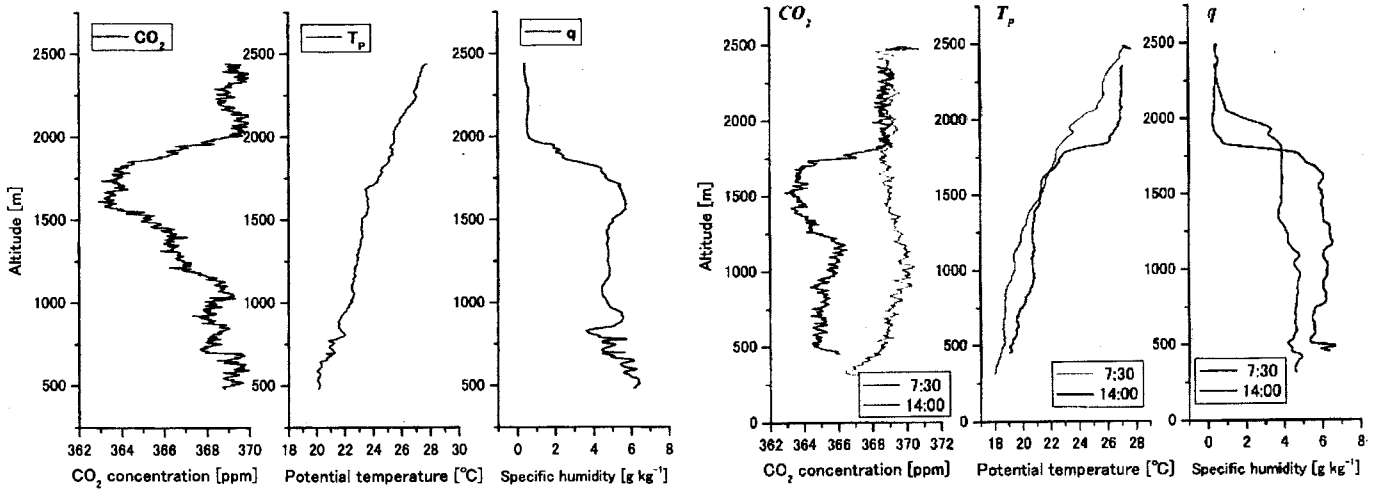


図6-3 2002年9月16日の小樽側プロファイル(左)と、苫小牧側プロファイル

16日夕方の小樽での二酸化炭素プロファイルについて、それぞれ500m, 1000m, 1500m, 2200mにあった空気のバックトラジェクトリを解析した結果を図6-4に示す。バックトラジェクトリはMSMを外側情報として用いた10km格子のAIST-MMを用いて風を計算し、この風を用いて38時間前までさかのぼって求めた。この図より1000m以上の高度の気塊は観測の5時間程度前から上昇したことがわかる。また、1500mの気塊は前日24~36時間前(すなわち15日の昼間)にはかなり低い高度にあった。水平面での動きを見ると、この日小樽で観測された空気塊は前日日本海から旭川方面に入り石狩平野中央部をめざして南下したあと札幌付近を北西に進んで小樽沖に至っている。

1500mの気塊は27時間前には暑寒別岳北側の留萌付近にあり、15日14:00には暑寒別岳方向に上昇する山風に伴って上昇した(図6-5)。また、観測2時間前には、石狩平野からその東側の山を乗り越えるように上昇する風に乗って日本海側に進み、1500m付近まで上昇していった。従って、二酸化炭素の低濃度は15日に暑寒別岳付近で地上付近にあった空気塊が植生の影響により濃度を下げたまま上昇し、石狩平野を南下して小樽に至ったと推測される。図6-4(b)に示されているように、小樽で観測されたプロファイルの下から上までの全部の空気が同じパスを通過して来ている訳ではなく、それぞれ複雑な動きをしている。

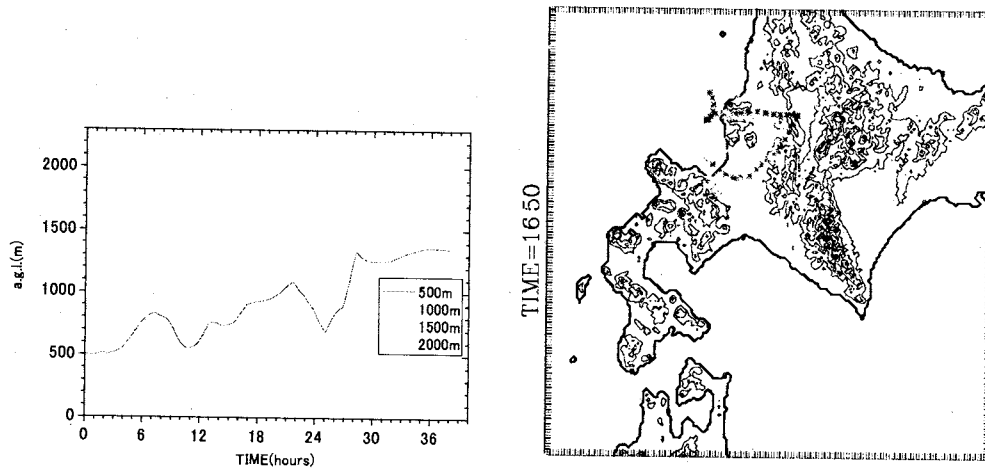


図 6-4 小樽で測定された各高度の空気塊の 38 時間のバックトラジェクトリ。左図 a) は高度の時間変化、右図 b) は水平移動の様子。b) の各シンボルは 1 時間毎の位置を示す。

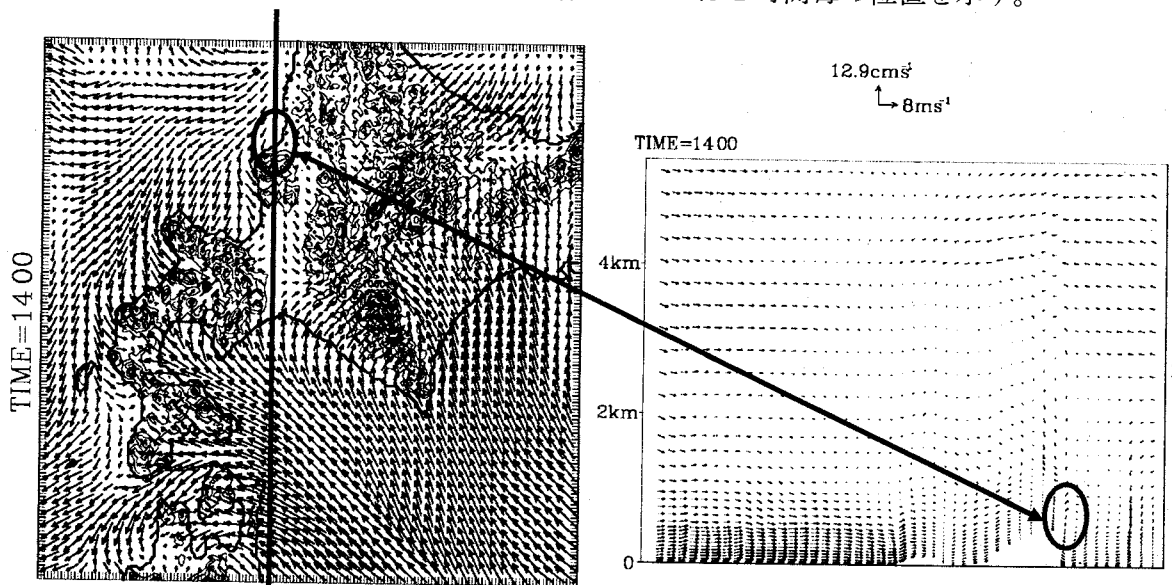


図 6-5 前日 15 日 14 時の地上風系と南北の線に沿った鉛直断面図

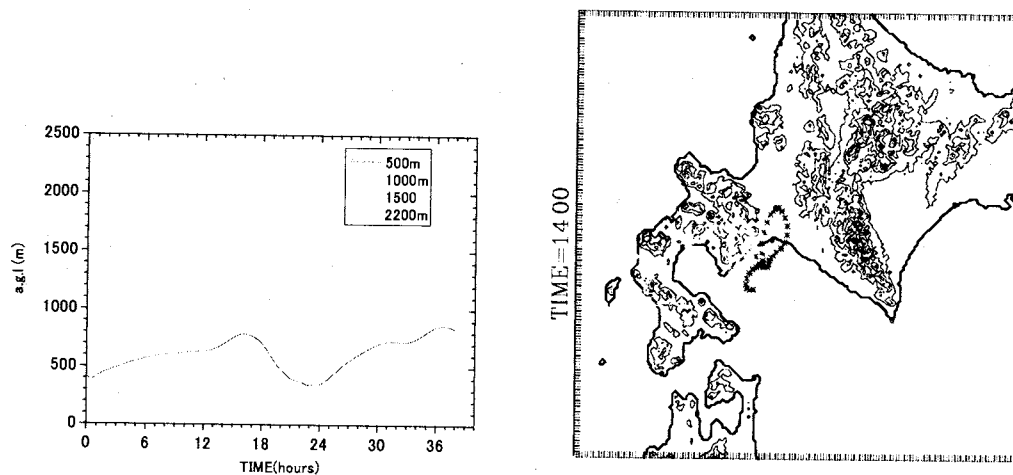


図 6-6 苦小牧で 14 時に測定された各高度の空気塊の 38 時間のバックトラジェクトリ。左図 a) は高度の時間変化、右図 b) は水平移動の様子。b) の各シンボルは 1 時間毎の位置を示す。

16日14:00の苫小牧でプロファイル測定された空気塊についても同様なバックトラジェクトリ解析を行った。苫小牧で観測された空気塊については概ね南側から来ており(図6-6)、小樽側では気塊が北側から来たのとは異なる。鉛直面での動きを見ると、観測時に1400m付近にあった空気塊は前日の朝以前は噴火湾上空にあり、海風の進入に伴い陸上に入って上昇した。各高度の気塊はそれぞれ複雑な動きをしており、小樽の場合よりも濃度とトラジェクトリの関係が複雑である。

③領域平均二酸化炭素フラックスの見積もり

7月23日における北海道札幌-苫小牧エリアにおける風向は南東であり、太平洋側から陸域に侵入した大気塊は、陸域における二酸化炭素収支の影響を受け、風下側の日本海へ移流する理想的な観測条件であった。このとき地表面の影響を受けた大気は、オホーツク海高気圧から吹き出した寒冷湿潤大気の層である。この下層大気の高さは、風下側において若干不均一性を持つが、ここでは地表面の影響を受けた下層大気の高さを平均的に取り扱い600mとした。この層内における平均的な二酸化炭素濃度を高度別水平二酸化炭素濃度分布から求めると、苫小牧側で369.9ppm、札幌側で366.5ppmであった。苫小牧側での観測値の数時間以内における変化が無視できるものと仮定し、同時に地表面の二酸化炭素収支の影響を受けた大気が上空の大気と混合しない、もしくは、あったとしても無視できる量だと仮定する。すると、ある大気塊が陸域を吹走する間に生じた二酸化炭素収支量の積分値($F_c \Delta x$)は、以下のように示すことができる。

$$F_c x = C_S \rho_S z_S - C_T \rho_T z_T$$

ここで x は、ある大気塊が通る陸域距離、 C は二酸化炭素濃度、 ρ は大気密度、 z は下層大気の厚さであり、添え字の S と T はそれぞれ札幌側での値、苫小牧側での値を示す。当日の地上風速を10m/sとすると、苫小牧-札幌エリアの陸域直線距離(x)約60kmを移動するのに要する時間(Δt)は6000秒である。したがって、領域平均の二酸化炭素フラックス(F_c)は

$$F_c = \frac{C_S \rho_S z_S - C_T \rho_T z_T}{\Delta t}$$

となる。各要素の値をまとめたものを表6-1に示す。以上の条件に基づいて領域平均二酸化炭素フラックス(F_c)を求めると、 $-20.7 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ という結果が得られた。

苫小牧フラックスリサーチサイトのカラマツ林における夏季日中の二酸化炭素フラックスはおよそ $5 \sim 30 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であり、農耕地における値は概ね $3 \sim 15 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ である。これらのことを鑑みると、石狩平野における人為起源の二酸化炭素放出量については、算出されたフラックスの値が人為起源二酸化炭素放出量を過少評価していた。この原因としては、札幌側のフライトが二酸化炭素の大規模排出源である札幌市から10km程度しか離れておらず、最下層のフライト高度300mでは、札幌市からの二酸化炭素放出に対して十分なフットプリントが得られていなかったためと考えられる。しかしながら、これらを考慮すると、得られた領域平均の二酸化炭素フラックスの値は妥当な値であり、森林による吸収の影響を大きく示唆する結果となった。

表 6-1 領域平均フラックスと計算に用いた各測定要素

	C [ppm]	T_{ave} [°C]	P_{ave} [hPa]	z [m]	F_c [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]
Tomakomai	369.9	13.3	976	600	
Sapporo	366.5	14.9	977	600	-20.7

④航空機観測との比較検証・冬季観測

冬季には植生や生態系による二酸化炭素の吸収・放出は少ないと考えられる。そこで、2003年2月24,25日に札幌市周辺で航空機による周回飛行を行い、札幌市周辺から放出される二酸化炭素量を推定できるかどうか検討した。ここでは、比較的気象状態や飛行状況が安定的であった24日午前の観測について、測定された濃度分布より札幌市周辺の二酸化炭素排出量を推定し、別途積み上げた値と比較してみることにする。

航空機は24日10時8分に丘珠空港を離陸し、10時57分から11時14分にかけて北緯43度04分、東経141度22分付近（JR札幌駅付近）を中心とする半径9km程度の円状のコースを高度600mで飛行した。ただし札幌市西部の山岳を避けるため西側ではコースが変形している。同様に11時17分から11時40分には高度410m付近、11時47分から12時5分には高度280m付近を円状に飛行した。また丘珠空港では9時から16時の間毎正時にパイロットバルーンで上層風の観測を行った。

航空機では1秒ごとに位置（経緯度、高度）と二酸化炭素濃度を記録している。このデータからこの範囲における二酸化炭素排出量を次のようにして求めた。

- ア. 280m、410m、600mの二酸化炭素濃度はそれぞれ0~340m、340~500m、500~700mの二酸化炭素濃度を代表しているものとし、それぞれの高度範囲での鉛直方向の濃度変化は無いものとした。
- イ. 丘珠空港で観測したパイロットバルーン、航空機が観測した高度に相当する高度の風向風速データをもとに、主風向（16方位にまとめる）と主風速を決め、この風向風速はその高度の飛行範囲で一定であるとした。
- ウ. 飛行コースを円で近似し、主風向を主軸として円を風上側4つと風下側4つの8つに分割する。その上でそれぞれの円弧の部分での平均二酸化炭素濃度を求めた（図6-7）。
- エ. 主風向に平行な線によって8分割した風上側と風下側の円弧上の平均濃度差を求め、 $(r/2 \times \text{この高度が代表する気柱の厚さ} \times \text{風速}$ ；図6-7参照）が作る体積Vに1秒間二酸化炭素が入ってきた結果、この濃度差が生じるものとして流入する二酸化炭素量を推定した。この際各高度の気圧の変化は無視した。
- オ. 各高度の領域ではそこから上空に出ていく二酸化炭素があるが、これについてはその上の領域の二酸化炭素増加量より推定し、500~700mの高度の領域から上空への二酸化炭素の輸送は無いものとした。

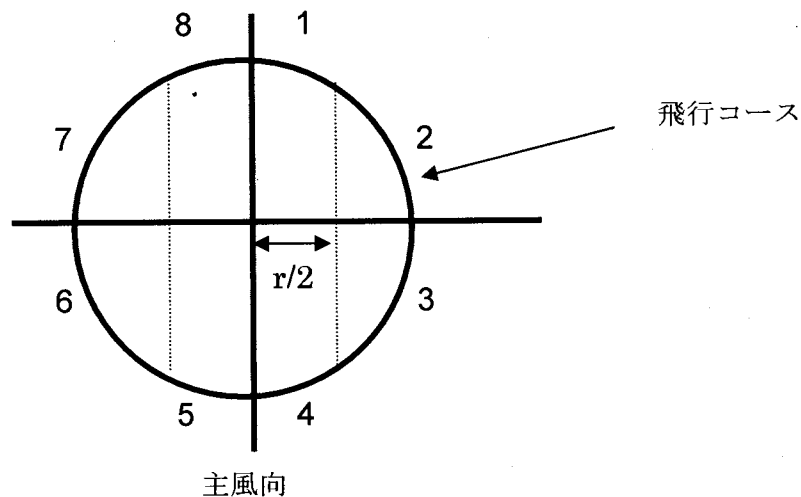


図 6-7 航空機の飛行コースへの二酸化炭素流入量算出の概念図

また、航空機の飛行コースへの二酸化炭素流入量の算出は、次のようにして求めた。

- (ア) 飛行コースを円で近似し、円を主風向に平行な線で8つに分割した。
- (イ) 各分割された円弧上で二酸化炭素の平均濃度を求めた。例えば、風向に平行に3の平均濃度から2の平均濃度を引いて差を求める。
- (ウ) この濃度差が ($r/2 \times$ この高度が代表する気柱の厚さ \times 風速) の体積の標準状態の空気に二酸化炭素が加わったために生じたとして正味の二酸化炭素流入量を求めた。

このようにして推定した1秒あたりの二酸化炭素流入量は、0~340mで $260\text{kgCO}_2\text{s}^{-1}$ 、340~500mで $220\text{kgCO}_2\text{s}^{-1}$ 、500~700mで $100\text{kgCO}_2\text{s}^{-1}$ となり、総計で $580\text{kgCO}_2\text{s}^{-1}$ となった。一方、工場・事業場、家庭、自動車等の燃料消費より求めた2月の11時の二酸化炭素排出量は、図 6-7 における四角の領域全体で $220\text{kgCO}_2\text{s}^{-1}$ であり、オーダーは合っているものの過小評価となっている可能性がある。

過小評価かどうかを確認するため、2月24日について二酸化炭素濃度シミュレーションを実施した。シミュレーションは既述のモデルを用い、計算は2月22日9:00より開始した。二酸化炭素発生源は人為起源のみを与えた。24日11:00の高度275mにおける風向風速と計算された二酸化炭素濃度、実測値をそれぞれ図 6-8~10 に示す。風向についての計算結果は丘珠付近では NNW、札幌市上空では N であり、風速もほぼ、丘珠空港での観測と一致している。二酸化炭素濃度については札幌市西部で高濃度である点は航空機観測と一致しているが、計算結果では最高濃度がバックグラウンドより 17ppm 高い。一方、航空機観測で測定したバックグラウンドとの濃度差は、最大 20~30ppm であるので計算結果は低めになっている。このことから燃料消費等から推定した札幌市の排出量は過小評価である可能性が高い。

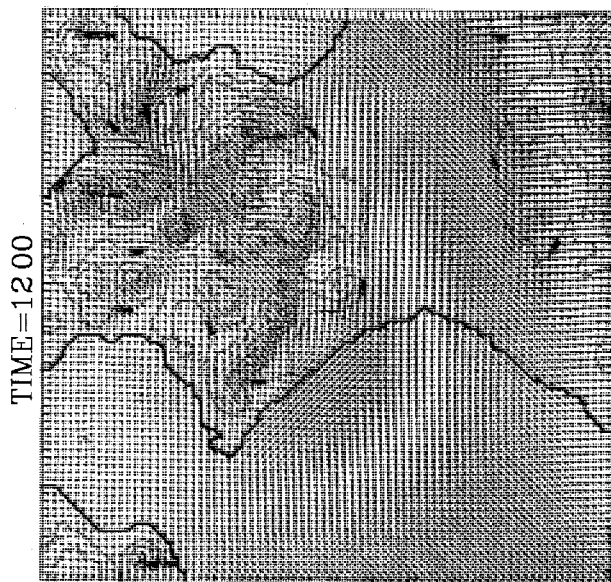


図 6-8 2003 年 2 月 24 日 12 時の地上約 275m の風向風速分布。山岳部では、山岳の上約 275m になる。

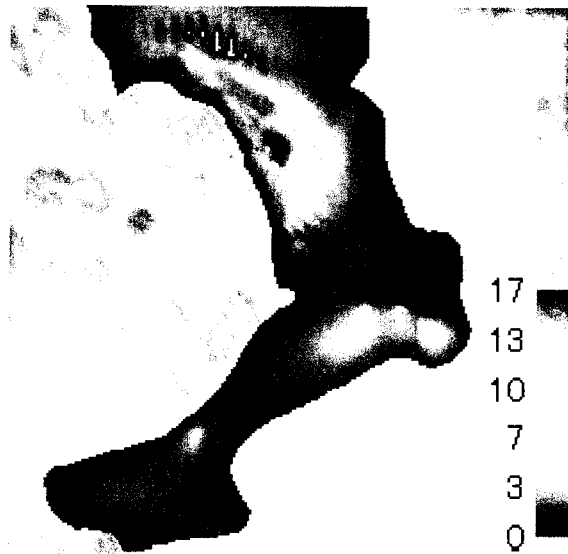


図 6-9 2003 年 2 月 24 日 12 時の地上約 275m での二酸化炭素の濃度分布分布。濃度の単位は ppmv でバックグラウンドからの相対値である。

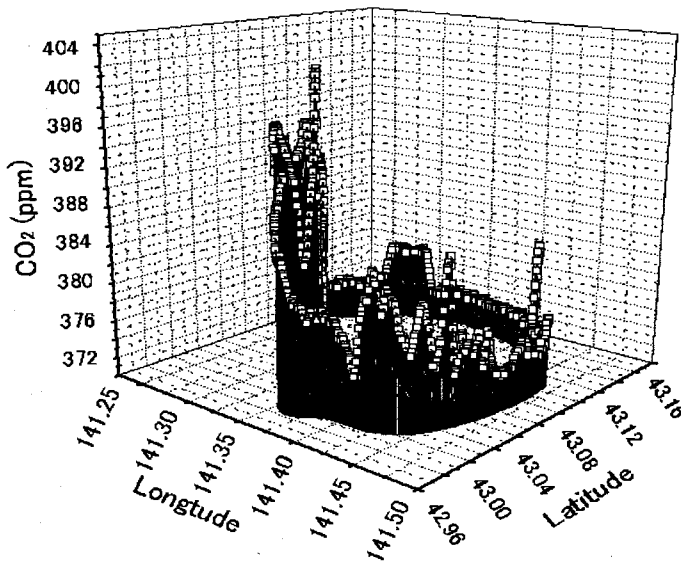


図 6-10 2 月 24 日 11:47-12:05 の高度約 280m における二酸化炭素濃度測定値の分布。

5. 本研究により得られた成果

本研究は平成13年度より実施したものである。この3年間の研究成果と解決すべき課題について、以下に記述する。

- ① 人為的二氧化碳素発生源に関するデータは、現時点では国単位でまとめられており、地域的・時刻別のデータはほとんど報告されていない。本研究においては、簡易でかつ精度の高い空間的発生源データの作成方法の開発を目的に、汎用的な公的統計値を使用し、1km四方の月別・時刻別のデータ加工手法を開発した。これにより、本研究に使用する空間的、時間的な発生源データを作成した。

このうち、二氧化碳素排出量全体の18%を占める自動車による排出データについて、総量についてはガソリン等燃料の販売量から算出したため、比較的精度は高いと考えられる。一方、データを空間的・時間的に配分する際、道路センサスのデータを用いたが、道路センサスは主要道路のうちごく一部でしか実施されておらず、同時に年間実施回数も少ない。また、今回は一般に公開されている昼夜別のデータを使用したことから、データの不確実性を招き、冬季観測時間帯での排出量過小評価を引き起こしたと考えられる。今後は、DRM(デジタル道路地図)データや自動車起終点調査(OD調査)、時間別の道路センサスデータなどを用いることにより、精度が大きく向上すると考えられる。一方、自動車以外の二氧化碳素の大規模排出源である製造業(31%)、家庭(18%)、業務(12%)については、詳細なデータを使用し、かつ不足している部分にはアンケートデータを用いることにより、比較的高精度な配分を行うことができた。

したがって、総合的な加工手法については、今後ますます必要となる地域単位での二氧化碳素排出量推定には極めて有効な手段であると示唆された。

- ② 二氧化碳素吸収源に関する観測については、本研究が開始された平成13年頃に国内での観測が活発化した。本研究では苫小牧フラックスリサーチサイト及び天塩CC-LaGサイトにおいて既存の観測機器を有効活用しつつ、観測精度を上げるために各種観測を実施した。そのうち、2種類の異なる二氧化碳素濃度計、クローズドパス法とオープンパス法の両方を長期間設置することにより二氧化碳素フラックスの有効性及び精度検証を行い、同時に観測塔の観測位置の違いによる観測値の差異を見だし、確実性を高めたことは重要である。今後の課題としては、森林全体としての二氧化碳素吸収量は把握したが、どのプロセスで二氧化碳素を吸収し、排出しているのかを明確にし、観測地以外の場所での二氧化碳素吸収量の算出根拠としてモデル計算に算入できるよう、プロセス研究を行うことが重要であると示唆された。
- ③ これまで、二氧化碳素濃度計は標準ガスを使用して高精度な大型のものと、標準ガスを使用しない比較的低精度な小型のものに分類されていた。また、特に航空機に搭載する場合、気圧の変化によって指示値が変動し、精度を確保することが難しかった。そこで、小型の二氧化碳素濃度計にバックプレッシャーバルブによる圧力調節機能を追加し、さらに2種類の標準ガスでの校正を行うこと等により、約0.2ppmの精度で計測可能とした。同時に、約70cm×50cm×30cm大のスーツケース型収納箱に全ての機器を収納することにより、小型化、高携帯性を実現した。本機器を使用すれば、搭載可能なスペースさえあれば、航空機をはじめ自動車や山上での観測も容易である。
- ④ 大気輸送モデルによる解析は、その有用性が示唆されたが、一方で局所的で複雑な地域風を組み込み辛いという問題も発生した。当初、本観測地域の選定にあたっては、四季を通じての

卓越風向である南北方向への風が吹き抜けるため、空気塊もそれに沿って移動するものと推察していたが、バックトラジェクトリ解析などにより空気塊の挙動は単純ではないことが判明した。併せて、南北両側を海に挟まれていることにより、陸風及び海風が単一方向に流れず、空気塊の滞留や放散などが複雑に絡み合っていた。今後の課題としては、地域風を如何に組み込むかということが重要であると考えられる。

本研究の目的とする大気観測による二酸化炭素の挙動把握、特に地域規模での二酸化炭素収支研究は、京都議定書によって提出が義務づけられている二酸化炭素排出インベントリや森林による二酸化炭素吸収量を検証する手段として、今後重要視されることになると考えられる。特に欧米における二酸化炭素フラックスの研究は、地上観測拠点での「点」的観測と同時に、大気観測からの直接的な推定、「面」的観測が常識となりつつある。日本においては、地形や土地利用の複雑さから、観測、特に大気輸送モデルをはじめとするシミュレーション計算が比較的困難であるが、その必要性は増しつつある。本研究は、データベース整備、航空機搭載型二酸化炭素濃度計の開発、開発したセンサーによる観測、大気輸送モデルによる計算を一括して実施した初めてのケーススタディであり、特にデータベース整備における方法論的知見や、汎用性の高い航空機搭載型二酸化炭素濃度計の開発などについては、今後の研究の大きな一助となると考えられる。

6. 引用文献

- 1) Kondo, H. N. Saigusa, S. Murayama, S. Yamamoto and A. Kannari, 2001: A numerical simulation of the daily variation of CO₂ in the central part of Japan -summer case-, J. Meteor. Soc. of Japan, 79, 11-21.
- 2) Gambo, K., 1978: Notes on the turbulence closure model for atmospheric boundary layers, J. Meteor. Soc. of Japan, 56, 466-480.
- 3) Brummage, K.G., 1968: The calculation of atmospheric dispersion from a stack. Atmos. Environ., 2, 197-224.
- 4) Schulze, E.D., F.K. Kelliher, C. Korner, J. Lloyd, and R. Leuning, 1994: Relationships among maximum stomatal conductance, ecosystem surface conductance, carbon assimilation rate, and plant nitrogen nutrition, Ann. Rev. Ecol. Syst., 25, 629-660.
- 5) Saigusa, N. S. Yamamoto, S. Murayama, H. Kondo and N. Nishimura 2002: Gross primary production and net ecosystem exchange of a cool-temperate deciduous forest estimated by the eddy-covariance method, Agric. Forest Meteor., 112, 203-215.

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上发表 (学術誌・書籍)

- ① Koike, T., Hojyo, H., Naniwa, A., Ashiya, D., Sugata, S., Sugishita, S., Kobayashi, M., Nomura, M., Akibayashi, Y., Nakajima, J., Takagi, K., Shibata, H., Satoh, F., Wang, W., Shi, F., Takada, M., Fujinuma, Y., Matsuura, Y. and Sasa, K.: Basic data for CO₂ flux monitoring of a young larch plantation -Current status of a mixed conifer-broadleaf forest stand, Eurasian Journal of Forest Research-, 2 65-79 (2001)

- ② 藤沼康実：地域規模の二酸化炭素排出・吸収量評価方法の開発，グローバルネット，129:24-25(2001)
- ③ 高木健太郎，小池孝良：第9回日米セミナー：地球変動ワークショップー陸域生態系における炭素循環マネージメントー報告，北方林業，54,1,15-18(2001).
- ④ K. Takagi, M. Nomura, D. Ashiya, S. Sugata, M. Kobayashi, H. Hojyo, A. Naniwa, Y. Sugishita, Y. Akibayashi, K. Sasa, T. Koike, Y. Fujinuma, M. Takada, M. Maebayashi: Carbon Cycle Monitoring on a Larch Plantation in Northernmost of Japan - Evaluation of Carbon Sequestration at a Current Mixed Forest in Autumn 2001, Proceedings of the 2nd AsiaFlux Workshop, 48-49(2002)
- ⑤ K. Takagi, K. Fukuzawa, D. Ashiya, Y. Akibayashi, M. Nomura, T. Koike, K. Sasa, S. Sugata, H. Hojyo, A. Naniwa, M. Kobayashi, Y. Sugishita: Roles of *Sasa* (dwarf bamboo) in carbon and water cycles of several ecosystems, Proceedings of the 9th U.S.-Japan Workshop on Global Change-Carbon Cycle Management in Terrestrial Ecosystems, 42-43(2002)
- ⑥ 北條元，高木健太郎，笹賀一郎，小池孝良，秋林幸男，野村睦，柴田英昭，吉田俊也，杉下義幸，菅田定雄，小林信，芦谷大太郎，浪花彰彦，福澤加里部，藤沼康実，高田雅之，前林衛，酒井一弘：森林伐採・育林などの森林施業が二酸化炭素吸収能に与える影響を解明するー北海道大学天塩研究林における大規模野外実験，北方林業，54, 5-7 (2002)
- ⑦ K. Takagi, M. Nomura, D. Ashiya, H. Hojyo, S. Sugata, Y. Sugishita, A. Naniwa, K. Sasa, T. Koike, Y. Fujinuma. and M. Maebayashi: Effect of snow cover on CO₂ flux of a cool-temperate mixed forest in northernmost of Japan, Proceedings of the VIII INTECOL, International Congress of Ecology, 261(2002)
- ⑧ K. Inukai, Y. Fujinuma and G. Inoue : Monitoring strategies in the estimate of CO₂ fluxes over northern forest, Proceedings of the VIII INTECOL, International Congress of Ecology, 91(2002)
- ⑨ T. Hirano, R. Hirata, Y. Fujinuma, N. Saigusa, S. Yamamoto, Y. Harazono, M. Takada, K. Inukai, G. Inoue: CO₂ and water vapor exchange of larch forest in northern Japan, Tellus, 55B, 244-257(2003)
- ⑩ 藤沼康実，三枝信子，平野高司，2003：温室効果ガスのモニタリングと森林フラックスの測定，「生物の科学 遺伝」別冊 17号 地球温暖化，48-57，掌華房

(2) 口頭発表

- ① 藤沼康実：地球環境研究センターが推進する森林の炭素循環機能に関する研究戦略，北海道大学演習林創設 100 周年記念国際シンポジウム(2001)
- ② Y.Fujinuma, T.Hirano, N.Saegusa, M.Takada, G.Inoue: Mesurement of CO₂ flux above a larch plantation in the cool-temperate zone, 6th Int. Carbon Dioxide Conf (2001)
- ③ 高木健太郎，野村睦，秋林幸男，笹賀一郎，小池孝良，芦谷大太郎，菅田定雄，小林信，花彰彦，杉下義幸，藤沼康実，高田雅之，前林衛，北海道北部針広混交林における秋季の炭素吸収特性，日本農業気象学会北海道支部 2001 年大会(2001)

- ④ 高木健太郎, 笹賀一郎, 野村睦, 秋林幸男, 小池孝良, 藤沼康実, 高田雅之, 犬飼孔, 前林衛: 北海道北部針広混交林における炭素吸収特性, 第 23 回 IGBP/GAIM 研究会 (2002)
- ⑤ 高木健太郎, 笹賀一郎, 野村睦, 小池孝良, 秋林幸男, 柴田英昭, 佐藤冬樹, 杉下義幸, 菅田定雄, 小林信, 北條元, 芦谷大太郎, 高橋廣行, 浪花彰彦, 香山雅純, 福澤加里部, 藤沼康実, 高田雅之, 犬飼孔, 前林衛, 深澤達矢: 北海道北部針広混交林における物質循環研究, CGER フラックスリサーチミーティング (2002)
- ⑥ 高木健太郎, 香山雅純, 高橋廣行, 北條元, 浪花彰彦, 杉下義幸, 菅田定雄, 笹賀一郎, 藤沼康実, 片山博之: 北海道北部針広混交林内の二酸化炭素濃度分布, 本農業気象学会北海道支部 2002 年大会 (2002)
- ⑦ 王輝民, 三枝信子, 山本晋, 平野高司, 鳥山敦, 藤沼康実: 苫小牧フラックスリサーチサイトにおけるカラマツ林と大気 CO₂ 交換量の季節変動について, 農業気象学会 2002 年度全国大会 (2002)
- ⑧ 王輝民, 三枝信子, 山本晋, 平野高司, 鳥山敦, 藤沼康実, 楊逢建, 王文傑, 祖元剛: 中国東北部と北海道苫小牧のカラマツ林における CO₂ 交換量の季節変化. 農業気象学会 2003 年大会, 盛岡 (2003 年).
- ⑨ Koh Inukai, Yasumi Fujinuma and Hiroaki Kondo: Development of Evaluating Methods for CO₂ budget in a regional scale, International workshop on flux observation and research in Asia. December 2003, Beijing, China
- ⑩ Huimin Wang, Nobuko Saigusa, Susumu Yamamoto, Hiroaki Kondo, Yuangang Zu, Fengjian Yang, Wenjie Wang, Takashi Hirano, Atsushi Toriyama, Yasumi Fujinuma 2003: Seasonal variation of net ecosystem CO₂ exchange over larch forest in northeast China and northern Japan., Proceedings of International Workshop on Flux Observation and Research in Asia, 72-73, Beijing, China (Dec, 2003).

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

・北大天塩研究林でのフラックス観測について以下の新聞に掲載された。

- ① 毎日新聞 (2001 年 10 月 31 日)
- ② 日本経済新聞 (2001 年 10 月 31 日)
- ③ 読売新聞 (2001 年 10 月 31 日)
- ④ 日本工業新聞 (2001 年 10 月 31 日)
- ⑤ 日本経済新聞 (2001 年 11 月 1 日)
- ⑥ 北海道新聞 (2001 年 11 月 8 日)

・東京新聞（2002年5月27日）

京都議定書に係わる特集記事で、苫小牧フラックスリサーチサイトのフラックス観測について紹介された。

・NHK（2002年8月19日）

「おはようニッポン」の番組中の地球温暖化を含む環境関連の話題の中で、苫小牧フラックスリサーチサイトのフラックス観測について紹介された。

・日本経済新聞（2002年12月6日）

京都議定書に係わる特集号で苫小牧フラックスリサーチサイトでのフラックス観測について紹介された。

（6）その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

本研究は、実際の大气観測から、その地域の二酸化炭素排出・吸収量を評価する手法を開発することを目的とした。そのために、従来から行われてきた二酸化炭素排出源・吸収源に係わるインベントリデータなどの統計資料から得られた原単位を積み上げて評価する手法と比較検証した。

その結果は、完全な評価手法を確立したとは言い難い段階のものであるが、航空機によるキャンペーン調査と固定観測点の連続観測のデータを入力データとして用いて、大気拡散移動モデルを解析することにより、当該地域の二酸化炭素排出・吸収量評価が行えることが確認できた。

このことは、本研究で開発した評価手法により、京都議定書の運用において必須となる、地域毎の二酸化炭素排出・吸収量の時空間分布・変動の推定が可能となることを示しており、地球温暖化抑制のための行政施策の推進の検証用の基盤データの入手にとって極めて有効な手段となることが期待できる。

また、本評価手法は特段の観測機材やノウハウが無くても、一般的な観測技術と大気輸送モデルを用いた数値解析によって可能であることから、確度は高いが時空間分解能に劣る統計資料から得られる原単位積み上げ法による評価と組み合わせることによって、当該地域の二酸化炭素排出・吸収量の評価の精度向上にも繋がる。

なお、本研究の推進過程から、汎用性の高い航空機搭載型二酸化炭素濃度計の開発などについては、今後の様々な観測プラットフォームを用いた二酸化炭素濃度観測研究にとって大きな一助となると考えられる。