

B-5 気候モデルによる気候変動評価に関する研究

(2) 対流圏の移流拡散モデルを用いた地球温暖化物質の動態評価に関する研究

研究代表者 資源環境技術総合研究所 林 正康

通商産業省 資源環境技術総合研究所

環境影響予測部 林 正康

環境影響予測部 広域域間環境研究室 今須 良一、蒲生 稔、前田 高尚

田口 彰一

(委託先) 筑波大学 地球科学系

田中 博

平成6-8年度合計予算額 36,187千円

(平成8年度予算額 11,193千円)

[要旨]

資源環境技術総合研究所で開発した3次元移流拡散モデルNIRE-CTM-93を用いてメチルクロロフォルム(CH<sub>3</sub>CCl<sub>3</sub>)、メタン、二酸化炭素の濃度分布の再現を試みた。本研究では、観測される濃度との比較から発生源・消滅先の推定値の改良を試みた。

大気中での化学反応を含む物質としてメチルクロロフォルムを用いた。対流圏でOHラジカルと反応しと消滅するが、本研究ではスピバコフスキーの推定した月平均・東西平均OHラジカル濃度を用いて実験した。その結果地表で観測される南北の分布をほぼ再現するとともに観測される季節変動も位相振幅共に再現した。但し大気中のOHラジカルの濃度を36%低くしなければ経年変化を説明できないことが判った。このOHラジカルの濃度を用いてメタンの実験を行った。メタンの発生源はテイラーの作成した月平均推定分布(524Tg/yr)を用いた。季節平均は観測と一致したものの、南北半球間濃度傾度は観測より小さく、発生源の南半球側の強度を相対的に小さくする必要があるが示唆された。

工業統計に基づく化石燃料の消費による二酸化炭素の発生量の推定値と、ファンが人工衛星から推定した大気と陸上生態系間の二酸化炭素の交換量を用いて大気中二酸化炭素の3次元分布の再現を試みた。陸上生態系による交換量を与えると大気中二酸化炭素濃度はほぼ観測される季節変化を示した。しかしながら発生と吸収の季節変動と卓越風向との相関があると年平均地表濃度が水平分布を持つことが判明した。

観測される地表濃度の経年変化、南北濃度経度、季節変化、半年周期変化を用いてエンティングが開発した逆転法の適用により交換量の推定を試みた。実験の結果この拘束条件をかなり強くしなければ季節変動が反転してしまった。逆転法で用いる陸上生態系の交換量の季節変動は再検討する必要がある。

[キーワード]

対流圏、移流拡散モデル、メチルクロロフォルム、メタン、二酸化炭素

1. 序

地球大気を構成する化学成分は、太陽・地球系の自然変動と人間活動によって変動している。地球温暖化あるいはオゾン層の破壊を引き起こすと予想される産業活動起源の大気微量成分についても、発生源から遠くはなれた場所での現状把握と将来予測が重要な課題となっている。地球大気全域に渡る濃度の分布を再現するには、それらの物質の発生・移流拡散・消滅のそれぞれの過程の理解が必要である。

地球大気は  $5 \times 10^{19}$  kg の重量があり地表から 10 km 程度が対流圏と呼ばれさらに 50 km 程度までは成層圏と呼ぶ。その成分は酸素と窒素が 99% を占めている。この中を流れる気流は主として数値気象予報の為に観測されており 70 年代以降 4 次元データ同化作用と呼ばれる手法の導入から全球を覆う分布（格子点データ）が得られるようになった。

大気中の微量成分の濃度は発生源、輸送、拡散、化学反応や降水への吸収による除去によりその 3 次元分布が決定していると考えられるので、それらの過程を数値的に表現することにより計算機により再現が可能であると考えられる。これを具体化した物が 3 次元移流拡散モデルと呼ぶ計算機プログラムである。NIRE が開発した NIRE-CTM-93 は水平分解能 2.5 度、鉛直 15 層で上部の境界は約 10hPa (30 km) である。6 時間毎の微量成分の 3 次元分布を計算する。

OH ラジカルは酸化反応をとともなう大気微量成分には最も重要な成分であるが直接測定は困難である。メタンやオゾン層破壊物質であるメチルクロロフォルム等にとっては OH ラジカルとの反応は主たる消滅過程である。

メタンの発生源は、沼地、水田、動物の排せつ物、白蟻等が考えられているが、定量的な評価は大きな不確定を残したままとなっている。その大気中濃度は産業革命以来増加してきたが、90 年代にはいつて停滞しつつある。増加の原因も停滞の原因も不明のままである。

二酸化炭素は大気中では化学的に安定で大気中濃度が比較的長期間に渡って観測されているにも関わらず、依然として発生と消滅に不明なことが多い。このため今後の対策技術の展開と、大気中濃度の予測に不確定を残したままとなっている。特に消滅先を推定するには地表面や海洋での素過程を解明する事と同時に、大気中濃度の観測から推定することも重要である。

## 2. 研究目的

NIRE が開発した 3 次元移流拡散モデル NIRE-CTM-93 を活用し、従来蓄積された地球温暖化物質の発生源消滅先の知識を検討することが本研究の目的である。

発生源が比較的良好に判っている物質で大気中濃度の観測が長期間蓄積されている物質としてメチルクロロフォルムを選ぶ。この結果により大気中の OH ラジカル濃度の評価を行う。

同様の消滅過程を持つメタンは発生源がよく判らないとされている。これまで作成された発生源推定値を用いて実験を行いその評価を行う。

二酸化炭素は人為発生源はよく判っているものの、陸上の生態系による発生と吸収（交換量）についてはその振幅と位相がよく判らない。また、経年変化を説明するための陸上植生、海洋などの相対的役割が不明のままである。そこで、この発生源・吸収先について逆転法を用いた解析を行い、推定値の改良を試みる。

## 3. 研究方法

実験の手順を発生消滅の単純な物から複雑なものへと進める事にした。特によく判っている量

と判らない量を組合せながら順次整合性のある結果を作成するように計画した。

#### (1) 第1年度 メチルクロロフォルムを用いたOHラジカルの調整

初年度はメチルクロロフォルムを対象とした。この発生量は国毎に報告が義務づけられているので化学工業の業界団体が調査しており、年毎の消費量がほぼ把握されている。例えばAFERA RS (代替フロン環境適合性調査, 1994)。発生源の分布は国毎の発生量と電力消費量や人口統計等を元に推定されている。

大気寿命計画 (ALE/GAGE) の研究グループにより地表濃度は世界の5箇所で2時間毎に測定されている。このグループは生産量の報告を行わない発展途上国の排出量まで含めた分布を推定しようと試みている。本研究で用いた発生源分布はフロンの発生量としてジョージア工科大学のハートレーの作成した分布である (図1)。ハートレーは米国大気研究センター (NCAR) の共同利用気候モデル (CCM2) を用いたので三角波数切断42 (T42) の水平解像度 (2.8 X 2.8度) で推定しているがこれを2.5 X 2.5に焼き直して用いた。

大気中OHラジカルの濃度は大気中のメタン・オゾン・水蒸気・一酸化炭素・炭化水素に係わる化学反応系で最も重要な成分として直接測定が試みられているが近年ようやく実験的な測定結果が報告されているに留まっている。ハーバード大学のスピバコフスキーは米国航空宇宙局 (NASA) のゴダード宇宙研究センター (GISS) の作成した3次元移流拡散モデルを用いてこれら5種の成分の平衡状態としてOHラジカル濃度を計算している (図2)<sup>1)</sup>。この推定値は5日毎の3次元分布として得られているが今回の研究では数年を越える寿命の物質を対象とするため月平均の東西平均の値を取得し利用した。

この推定法に関しては絶対値に意味があるとするスピバコフスキーと相対値に意味があるとするハートレーの間で議論がある。この推定法が化学種間の反応速度に依存し、反応速度が気温に依存することを考えると平衡状態のOHラジカルの濃度は3次元移流拡散モデルで用いる気温に依存すると考えるのが妥当と思われるので、本実験においてはスピバコフスキー氏の値を利用しながらもその思想には捕らわれず、ハートレー氏の考えに基づいて絶対量の調整を行った。

メチルクロロフォルムとOHラジカルの反応速度はジェット推進研究所 (JPL) の編集した値を用いた。この反応係数は新しい実験が行われる毎に更新されており、スピバコフスキー氏の用いた値とは既に異なっている。この点を考慮しても実験に応じたOHラジカル濃度の調整が必要になることが理解されると思う。

実験は北半球側110pptv南半球側70pptvで半球毎に一樣の状態からはじめ1979から1989の11年間の排出量を与えながらモデルを走らせた。気象データは1992年の物を繰り返して使った。従って計算期間中の大気温の年々変動などは反映されていない。5箇所 (アイルランド、米国オレゴン、バルバドス、米国領サモア、オーストラリア・タスマニア) の地表濃度観測と比較して最適なOHラジカル濃度を調整した。

#### (2) 第2年度 メタンと二酸化炭素の3次元分布

メタンは発生源の分布がよく判っていない。また微生物の活動に依存するため温度や土壌の水分の影響を受け季節変動すると考えられている。

大気中の濃度は米国海洋大気庁の気候診断研究室 (CMDL/NOAA) が継続的に観測を行っている。個々の要素からの発生量を3次元移流拡散モデルに用いて3次元の濃度分布を計算し、

この結果が観測と合うように調整することにより、発生量の季節変動まで含めた推定値が計算されている（テイラー等、ファン等）。しかしながら当然3次元モデルの輸送特性に依存する事になり本研究でNIRE-CTM-93の結果が観測と合うかどうかを検討する。

今回用いたものはテイラー等が推定した値（図3）<sup>21</sup>で、月毎の2.5 X 2.5度の分布が与えられている。発生量の最大値は年間ほぼ一定であるが、水平分布は季節変動し、例えばシベリアでは秋から春の低温時は発生が抑えられ、夏期7月から9月の間に発生がある。中国大陸では年間を通じて発生しているもののその強度は夏に最大となっている。南米も年間を通じて発生していることが判る。

彼らが用いた3次元モデルはオーストラリア国立大学で開発されたラグランジュ形モデルである。このモデルは計算機に対する負荷が小さく80年代としては画期的なモデルであったが、近年実施された国際輸送モデル相互比較実験（TRANSCOM）では南北半球間の輸送特性が他のモデルと際だった差のあることが判明している。

OHラジカル濃度は前年度に調整された物を用いた。テイラー等は異なる分布（ブラッセア等）を用いている。反応速度はJPLの値を用いた。これもテイラー等が用いた値とは異なる。

実験は全球一様1600 ppbvからはじめ、1983年から1989年の7年間について5箇所（カナダ・アラート、米国オレゴン、米国領サモア、オーストラリア・タスマニア、南極大陸・昭和基地）の地表濃度との比較を行い、発生源推定値の評価を行った。

第2年度は二酸化炭素も対象とした。二酸化炭素は人為発生源の評価が詳しく行われているのに対し自然発生源の評価の精度が低い。第2年度の実験では国際輸送モデル相互比較実験（TRANSCOM）の実験条件に合わせて、化石燃料の燃焼による発生と陸上生態系のもたらす発生と吸収の季節変動成分のみを用いた実験を行った。

二酸化炭素は米国海洋大気庁（NOAA）とカナダ大気環境庁（AES）の観測値を用いて比較した。観測点を図4に示した。人為発生源から遠くはなれた場所での観測が行われており、図を見るとユーラシア大陸やアフリカ、南米の空白域が目立つ。これら地域では各々の国によって独自の観測が行われているが、観測精度がまちまちで今回の比較では用いなかった。

化石燃料の消費による発生はマーランド達が1986年の国毎の排出量分布を人口統計に基づいて1度 X 1度に展開した値を用いた（図5）。

陸上植生はGISSのファンが人工衛星NOAAに搭載された高精度分光放射計（AVHRR）のデータから推定された陸上の植生の重量の季節変動から推定したNPP（正味生産量）に土壌のモデルを組み合わせて推定した値<sup>22</sup>を用いた。この月毎の発生量と吸収量の東西の総和の経度分布を図6に示した。北半球中緯度では春と秋の年2回が発生となり、吸収は6, 7, 8の3カ月に集中している。熱帯の吸収は1月に南半球にあって、それが次第に赤道を越えて北へ移動することが判る。北半球の中緯度で冬季の排出が少ないのは低温のために土壌モデルの中で微生物の活動が抑えられるからである。

実験は全球一様350 ppmvから出発し、4箇所の連続観測（アラスカ・バロウ岬、ハワイ・マウナロア、サモア、南極）、図4に示した23箇所の月平均値等と比較した。

### （3） 第3年度 逆転法を用いた二酸化炭素の発生源・消滅先の推定

最終年度は二酸化炭素の発生源の分布の推定を行う方法を研究した。季節変化する陸上植生を

19領域を設定した。但し排出と吸収を独立に扱った。定常な海洋を12領域、大気中で一酸化炭素が酸化して二酸化炭素となる量を1つ、化石燃料を消費して排出されるものを1つ考え、総計52個の要素を考えた。大気中濃度はNOAAとAESの観測値を用いた。この観測値から南北濃度傾度、年周期の振幅と位相、半年周期の振幅と位相を調べる。個々の発生源がNIRE-CTM-93の中でおのおのの観測点で作り返すそれら変数を同様に調べる。観測される変数が個々の発生源強度の線形の足し合わせで表現できると仮定して強度を推定する。

ここで簡単に逆転法の原理(エンティング達、1993)<sup>4)</sup>を解説する。

発生源の個数をN、 $\mu$ 番目の発生源の強度を $\sigma_{\mu}$ とする。観測点の数をM、j番目の観測値を $c_j$ とする。

さて単位強度の発生源 $\mu$ がjに及ぼす影響を $T(j, \mu)$ とすると、問題は

$$c_j = \sum T(j, \mu) \sigma_{\mu} + \text{観測誤差}$$

が成り立つと仮定して $\sigma_{\mu}$ を推定することである。

Bayesian形式では既知の推定値 $s_{\mu}$ を考慮する。 $u_j$ を観測誤差の標準偏差、 $v_{\mu}$ を既知の推定値の標準偏差等として、ここでは最小自乗法で検討する。それは、

$$\Theta = \sum_{(j=1, M)} (c_j - \sum_{(\mu=1, N')} T(j, \mu) \sigma_{\mu})^2 / u_j^2 + \sum_{(\mu=1, N)} (\sigma_{\mu} - s_{\mu})^2 / v_{\mu}^2$$

を最小にする $\sigma_{\mu}$ を求めることである。

ここで $N' > N$ とすることで、既知の推定値を持たないような疑似発生源をも考慮できる。

陸上植生は熱帯雨林(3)、熱帯季節林(3)、温帯常緑樹(1)、温帯落葉樹(3)、寒帯林(3)、シュラブ(1)、草原(5)に分けた。植生分布はマシューの1x1度の分布を用い、これと前年度用いたファンの分布を組み合わせて月毎の分布を作成した。発生と吸収は独立に扱い、季節変動を調べる場合は結果を組み合わせた。また、植生の拡大・縮小にともなう経年変化は吸収のみの計算結果を用いた。

#### 4. 実験結果

第1年度はメチルクロロフォルムを用いた実験を行った。

OHラジカル濃度を未調整のまま(全球平均 $7.7 \times 10^6$ 分子/立方センチ)実験すると大気中濃度は増加せず観測と一致しなかった。全球一様に0.64の係数を掛けたOHラジカルの分布を作成し再度実験したところ図7に示すように観測に近づいた。図中黒丸はフラスコにより大気を採取し一ヶ月に数回の測定を行ってそれを平均した値である。実線はモデルの計算値である。

測定は観測点の近傍からの排出の影響を受けないようにバックグラウンドの条件で行われているが、モデルでは計算値の全てを平均して1カ月平均を作成している。従ってこの比較は正確さを欠くが、この時点では月平均値しか獲られなかったのでこのまま示す。(後ほど二酸化炭素の濃度は連続観測と比較するので汚染イベントの影響はその時議論する。)

アイルランドではモデル計算の最低濃度と観測値はよい一致を示している。オレゴンでは観測値よりモデルの濃度が低い。バルバドス、サモア、タスマニアでは計算期間中の前半は観測と計

算がよく一致しているといえる。タスマニア等でみられる季節変動はOHラジカル濃度の季節変動に支配されていると考えられるが、計算と観測がよく一致することからOHラジカル濃度の季節変動がほぼ正しく与えられていると判断できる。

計算期間の後半では計算される濃度は観測より高く、発生源の推定量が大きすぎるかOHラジカルの濃度が増加している等が考えられる。

第2年度は第1年度に調整を行ったOHラジカルの濃度を用いてメタンの実験を行った。その結果は図8に示す。

季節変動の振幅と位相はアラートを除く4つの観測所でよく一致している。アラートでは冬季間の濃度が低く計算される傾向がある。

南半球では平均濃度が観測より高く計算され、南半球側の発生源が強すぎるのではないかと考えられる。

化石燃料の消費に伴う二酸化炭素の排出量を用いた実験では図9のようになった。サモアを除く観測点では顕著な季節変化が観測されるが、化石燃料の排出による濃度はほとんど季節変化せず、観測される季節変化を説明できない。

サモアでは2月から4月にかけて観測値が10日程度の時間スケールで変動するがモデルもその傾向を再現している。

陸上の植生による発生・吸収を与えると図10の様になり、季節変化がほぼ再現されている。但しパロウ岬の5月6月は観測では見られない高い濃度となり推定値に何等かの改善が出来る可能性がある。南極の計算値は観測のおよそ倍くらいの季節変動を示している。

年間平均濃度を化石燃料の燃焼による部分と陸上の植生による部分さらに観測値について図11に示した。化石燃料の実験は第2年と3年を示した。観測値は1988, 1989, 1990の三年間を示した。

アラートと南極の差は観測では約4ppmある。化石燃料の実験では2ppm、陸上植生では4ppmとなった。この実験結果から北半球側に2ppmを帳消しにする吸収がなければ観測を説明できないことになった。

陸上植生実験の月平均値の振幅を同様に比較すると図12のようになった。北半球側では観測とほぼ同じ大きさの季節変動があるが、南半球側ではモデルの計算値が観測より大きな振幅を示している。

第3年度は逆転法を試みた。2種類の拘束条件で計算した。各々の解をもちいて発生源・吸収強度の分布を再構築しNIRE-CTM-93を走らせた。

陸上植生の分類1から7までは解が負となった。これは与えられた季節変動が逆転することを意味しており、本来樹木が成長し大気中の二酸化炭素を吸収すべき夏に陸上植物が二酸化炭素を排出するような季節変化となっている。この様にすると秋から冬に掛けての濃度が上昇し、6月7月の濃度が減少し観測と近づくことが判った。

## 5. 考察

一般的に言って、発生源の推定を逆転法で求める過程では予め推定された発生源データに基づいて3次元輸送モデルを順方向に走らせることが必要である。このモデルの性質は果して逆転法の結果に影響しないであろうか？ 直感的にもNIREでの計算結果からもモデルの性質が発生

源の推定（逆転法）の結果に大きな影響を及ぼすことが考えられる。

逆転法を用いるためにはできるだけ正しいモデルを用いることが正しい結果を得る条件となると考えられる。ではモデルの性質はいかにして評価することが出来るのであろうか？ 発生源がよく判っていて、大気中濃度もよく判っている場合が都合がよい。一般的に用いられる物質は農業活動起源のフロン、土壌から発生する放射性同位元素ラドン、核燃料サイクルから発生する放射性同位元素クリプトン、SF<sub>6</sub>等がある。いずれも年間を通じた発生量が定常だと考えられており季節変動を除く部分の検証には有効である。

では季節変動を伴う物質ではどうだろうか？ それにはまず観測される濃度の季節変動は何によって決まるかを考える必要がある。風向風速が季節によって変動しない場合、発生・吸収領域の風下側での濃度の季節変動はそのまま発生・吸収域の強度の季節変動である。

発生・吸収域の強度が年間一定であっても、この上空を吹く風に季節変動がある場合、風下側には季節変動が生ずるであろう。観測点が主要な発生源の近傍にある場合は汚染イベントの比較を行うことで検証する事が考えられる。

熱帯下部対流圏では熱帯集束帯（ITCZ）が北半球大気と南半球大気の境界となっているが、このITCZの南北の移動がこの付近の観測点での濃度の季節変動を生み出している。今回の実験でもサモアの連続観測とモデルの計算からある程度季節変動の検証が出来た。

発生源が季節変動を持つ場合、モデル内でその季節変動がどの様に伝わるかが逆転法の適用時に重要となると考えられるが、モデルの検証方法は確立していない。今回の実験では陸上植生の位相が反転したが、この原因がモデルにあるのか実験の設計の問題であるのかは今後の研究課題である。

## 6. まとめ

地球温暖化物質の発生源・消滅先の定量的な推定を行うことが3次元移流拡散モデルの一つの活用法であり、本研究ではこの点の利用法の開発をおこなった。

実験結果は観測された風速を用いる当該モデルが従来の気候モデルの出力を用いるモデルとは格段の有効性を持つことが判明したといえる。

まず第一に観測される大気微量成分の連続観測との比較が可能となったことである。すなわち従来は季節変動などの統計量のみが比較の対象となったがこのモデルでは季節変動（バルバドス）、あるいは季節内変動（サモア）の詳細が検証の対象となったことである。今後、用いる気象データを拡大することにより、年々の気象状態の変動に由来する濃度の変化も再現できる可能性がある。

エンディングの方法を用いると形式的には解を得ることが出来る。ところが中国大陸の季節変動を見ると夏に放出冬に吸収となり植物の活動の季節変化の常識とは異なるため解釈が困難となる。

## 7. 本研究で得られた成果

OHラジカル濃度はスピバコフスキーの値より36%小さい。

テイラー等のメタンの発生源分布は南半球側の強度が強すぎる。

ファンの二酸化炭素の発生・吸収の季節変化には改善の余地がある。

エンディング等の逆転法を用いるためには季節変動の評価法を工夫する必要がある。

#### 8. 参考文献

- 1) Spivakovsky, C.M., R.Yevich, J.A.Logan, S.C.Wofsy, M.B.McElroy, and M.J.Prather, Tropospheric OH in a three dimensional chemical trace model: An assessment based on observations of CH<sub>3</sub>CCl<sub>3</sub>, J.G.R.,95,18441-18471, 1990.
- 2) Taylor, J.A, G.P.Brasseur, P.R.Zimmerman, and R.J.Cicerone, A study of the sources and sinks of methane and methyl chloroform using a global three-dimensional lagrangian tropospheric tracer transport model, J.G.R., 96, 3013-3044, 1991.
- 3) Fung, I.Y., C.J.Tucker, and K.C.Prentice, Application of advanced very high radiometer vegetation index to study atmosphere-biosphere exchange of CO<sub>2</sub>, J.G.R.,92,2999-3015,1987. Marland, G., and R.M.Rotty, Carbon dioxide emissions from fossil fuels: A procedure for estimation and results for 1950-1982, Tellus, 36B, 232-261, 1984.
- 4) Enting, I.G., C.M.Trudinger, R.J.Francey, and H. Granek, Synthesis inversion of atmospheric CO<sub>2</sub> using GISS tracer transport model, Div. Atmospheric Res. Tech. Pap, Aust., CSIRO, 29, 1-44, 1993.

#### ・研究発表の状況

- Taguchi, S., A three-dimensional model of atmospheric CO<sub>2</sub> transport based on analyzed winds: model description and simulation results for TRANSCOM, J.Geophysical, Research, 101, 15,099-15,109, 1996
- Law, R.M., P.J.Rayner, A.S.Denning, D.Erickson, I.Y.Fung, M.Heimann, S.C.Piper, M.Ramonet, S.Taguchi, J.A.Taylor, C.M.Trudinger, and I.G.Watterson, Variations in modeled atmospheric transport of carbon dioxide and the consequences for CO<sub>2</sub> inversions Global Biogeochemical Cycles, 10, 783-796, 1996
- Taguchi, S, I.G.Enting, P.J.Rayner, Seasonal cycles in the emission of CFC-12, (to be submitted for J. Geophysical Res.)
- Enting, I.g., P.J.Rayner, S.Taguchi, C. Trudinger, I.Watterson, Discrepancies in regional carbon budgets resolved by covariance effects, (to be submitted for Nature)
- Effects of non-interpolation layer on exchange process between stratosphere and troposphere in a global chemical transport model (to be submitted to Journal of Atmospheric Science).
- Hasegawa, A., H.L.Tanaka, H.Hirakuchi, and S.Taguchi, Comparative energetics analysis of CCM2 with different horizontal resolutions, J.Climate Dynamics, (in press).

#### 学会発表



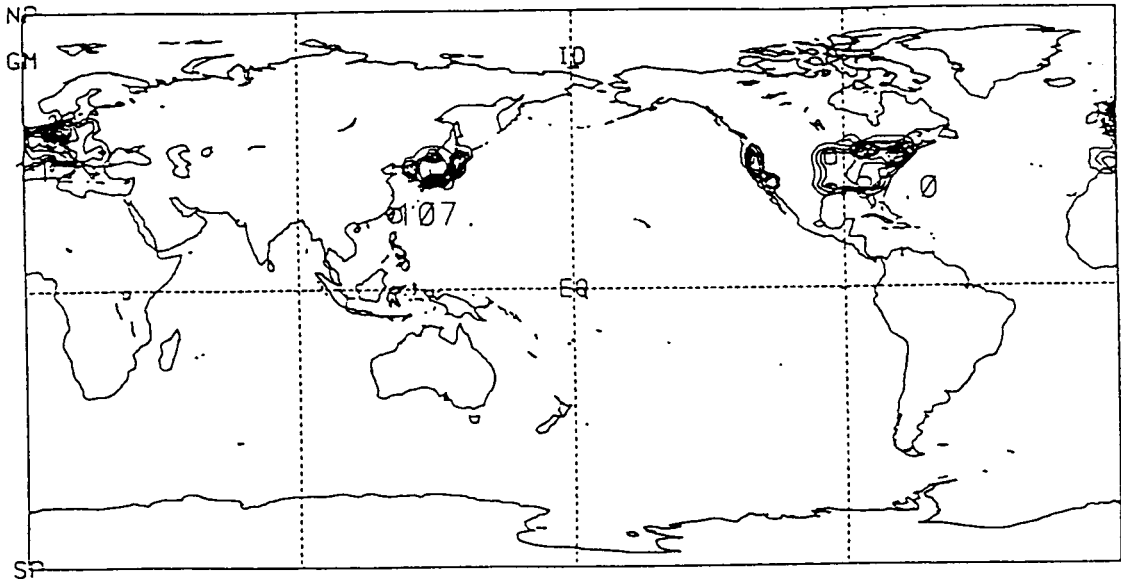
Taguchi,S., I.G.Enting, C.M.Trudinger, P.Rayner, Synthesis Inversion of atmospheric transport model, AMOS annual meeting, Hobart, February,1996

Taguchi,S., I.G.Enting, P.Rayner, Seasonal cycle in the emission of CFC-12,American Geophysical Union, West Pacific meeting, Brisbane, July, 1996

・国際共同研究の状況

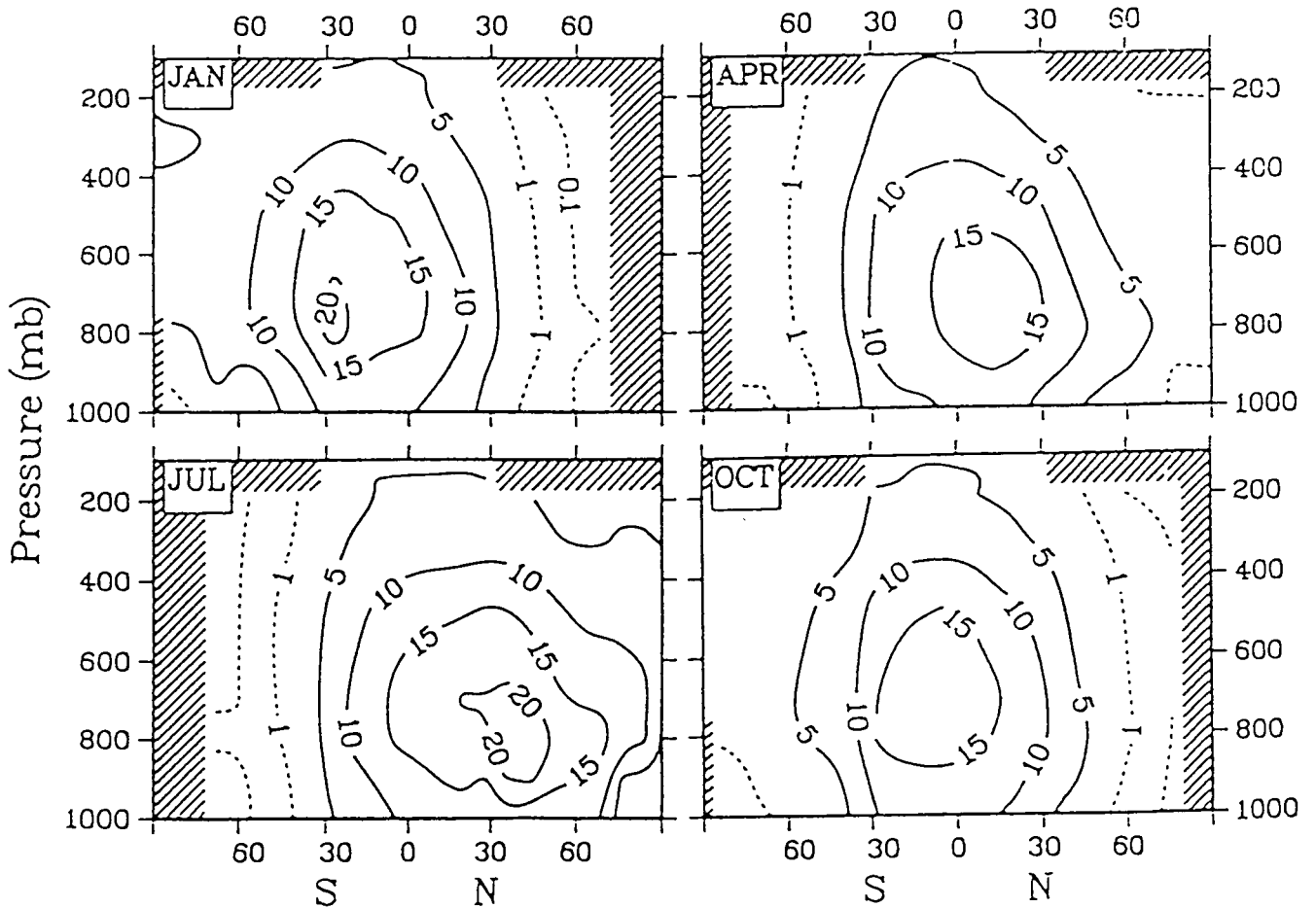
工業技術院国際特定共同研究・地球環境技術として豪州CSIRO（連邦産業科学研究機構）大気研究部門と「南北両半球にわたる物質循環輸送過程およびそのモデル化の研究」を実施

☒ 1 CFC emission estimated by Hartley et al.(1993)



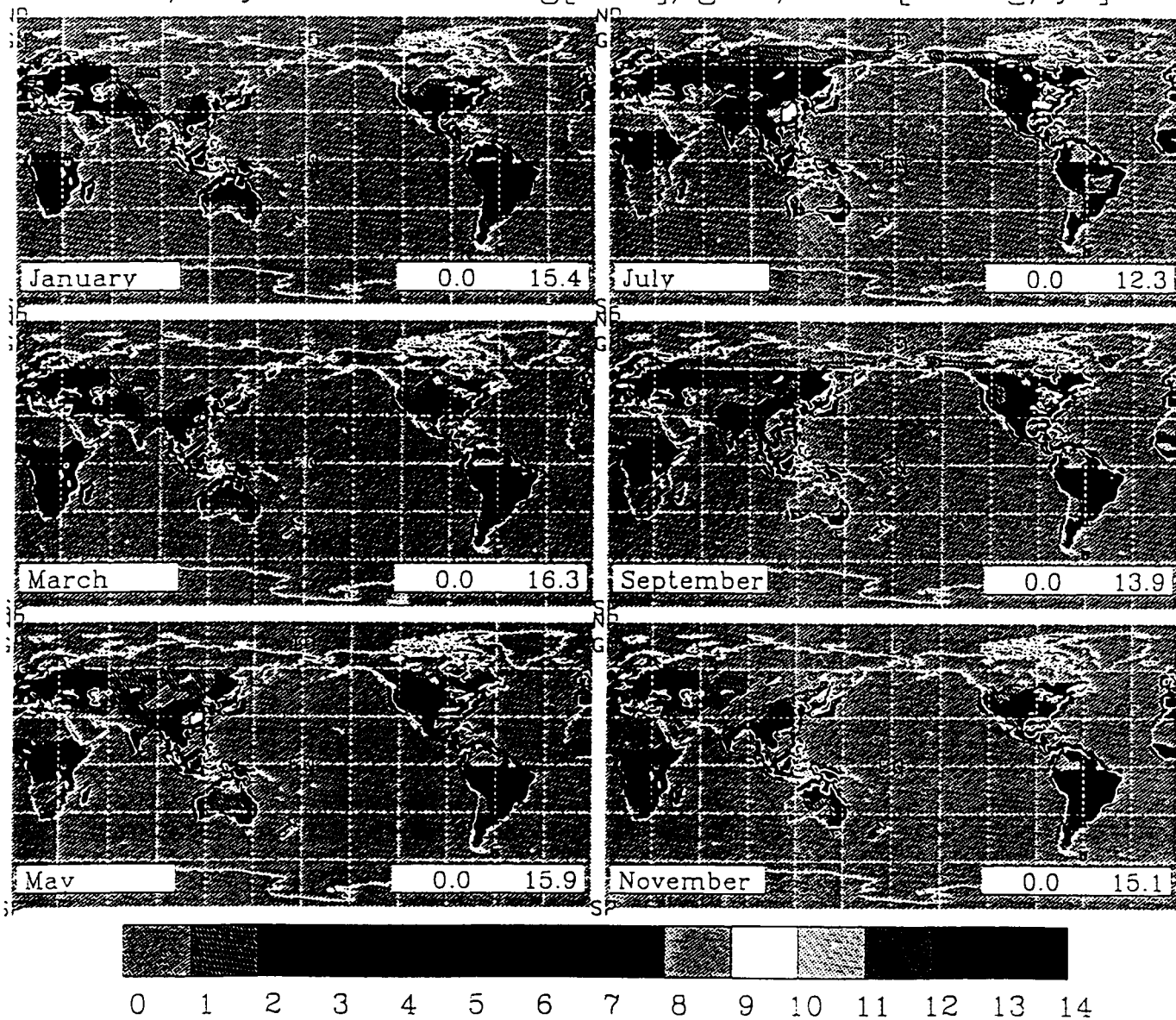
0.00000 112.01100

0 to 120 by 10



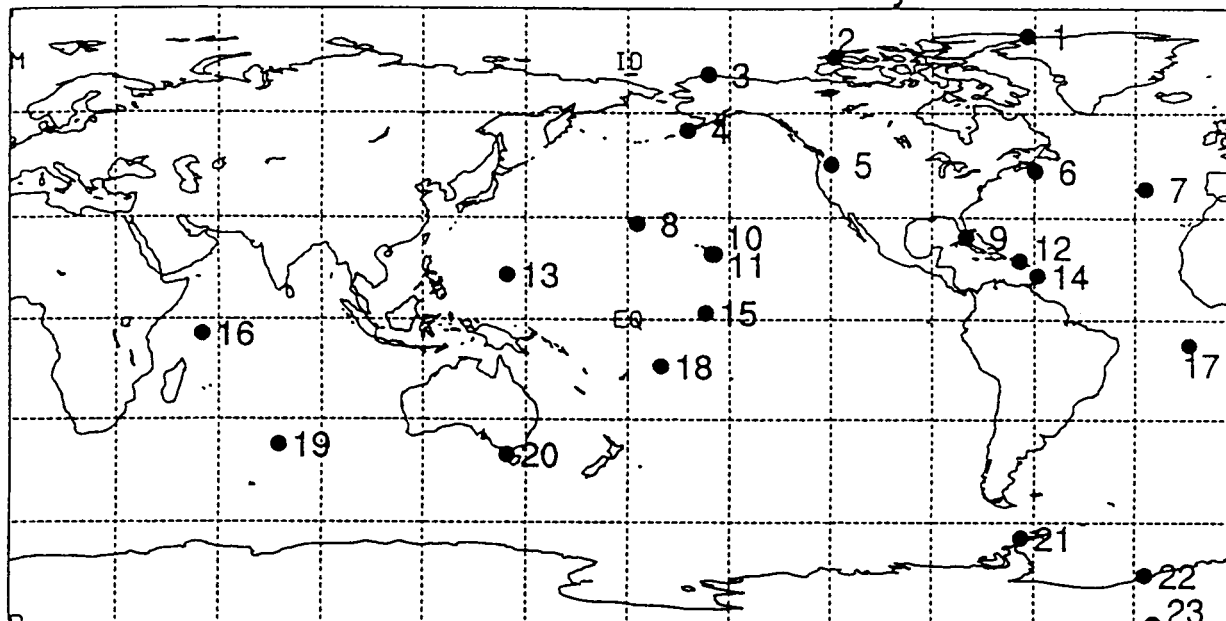
☒ 2: Tropospheric OH(units:  $10^5 \text{ molecules/cm}^3$ ) used in this study for January, April, July, and October. (Spivakosfsky et al. 1990.).

CH<sub>4</sub>/Taylor Unit=10<sup>8</sup> g[CH<sub>4</sub>]/grid/12H [524Tg/yr]



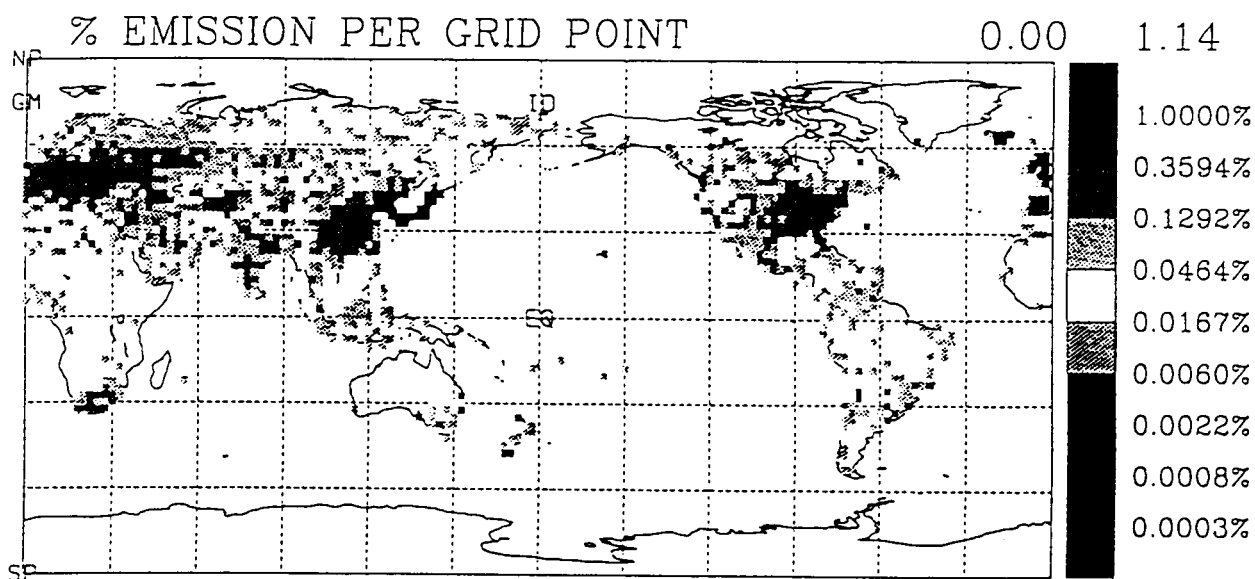
☒ 3: The spatial distribution of the source of methane estimated by Taylor *et al.* [1991].

## CMDL/AES Observation site used in this study

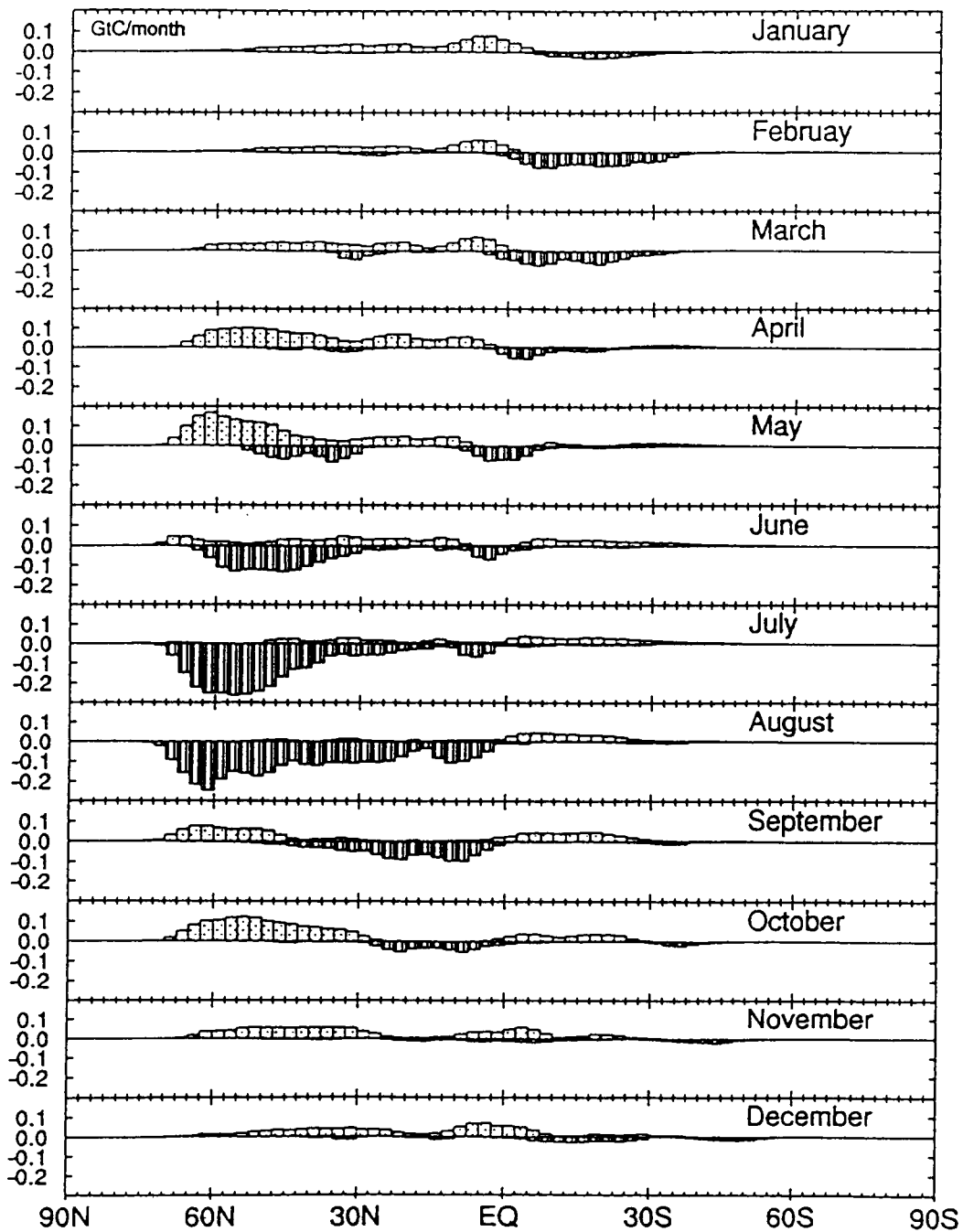


1	ALT	alert	82N	62W	13	GMI	mariana	13N	144E
2	BMC	mouldbay	76N	119W	14	BRB	ragged	13N	59W
3	BRW	barrow	71N	156W	15	CHR	christma	2N	157W
4	CBA	coldbay	55N	162W	16	SEY	mahe	4S	55E
5	CMO	meares	45N	120W	17	ASC	ascensio	7S	14W
6	SIC	sable	43N	60W	18	SMO	matatula	14S	170W
7	AZR	azores	38N	27W	19	AMS	amsterda	37S	77E
8	MID	sand	28N	177W	20	CGO	capegrim	40S	144E
9	KEY	biscayne	24N	80W	21	PSA	palmer	64S	64W
10	MLO	maunaloa	19N	155W	22	HBA	halley	75S	27W
11	KUM	kumukahi	19N	154W	23	SPO	amundsen	89S	24W
12	AVI	stcroix	17N	64W					

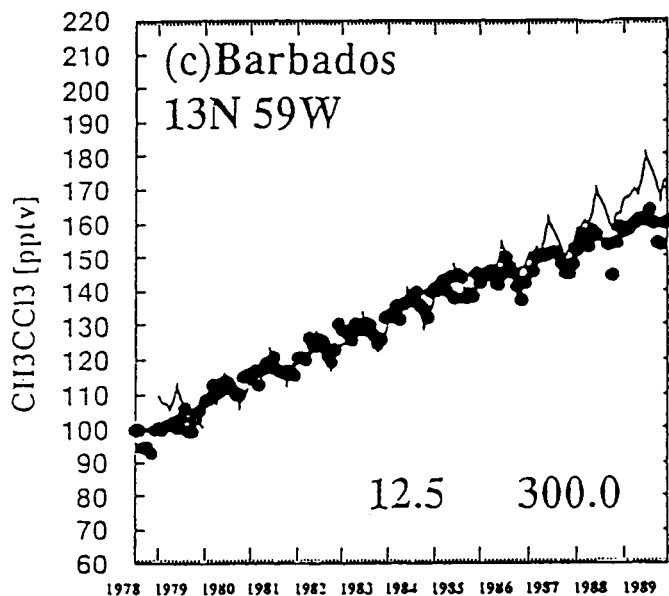
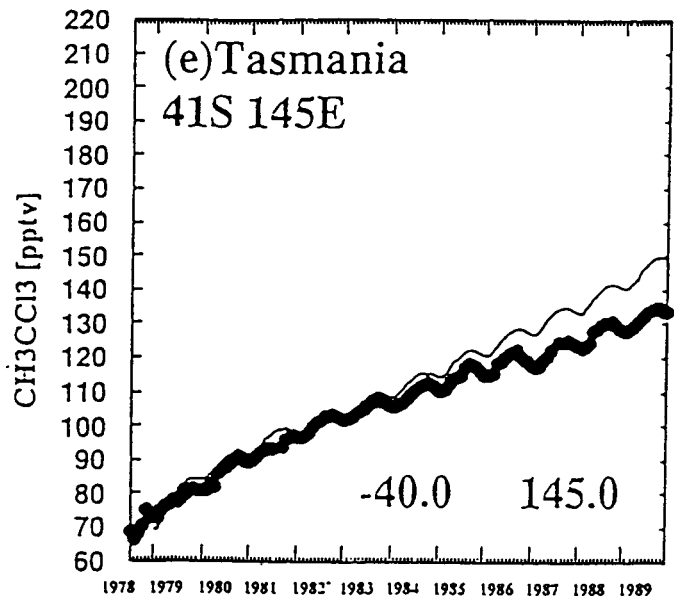
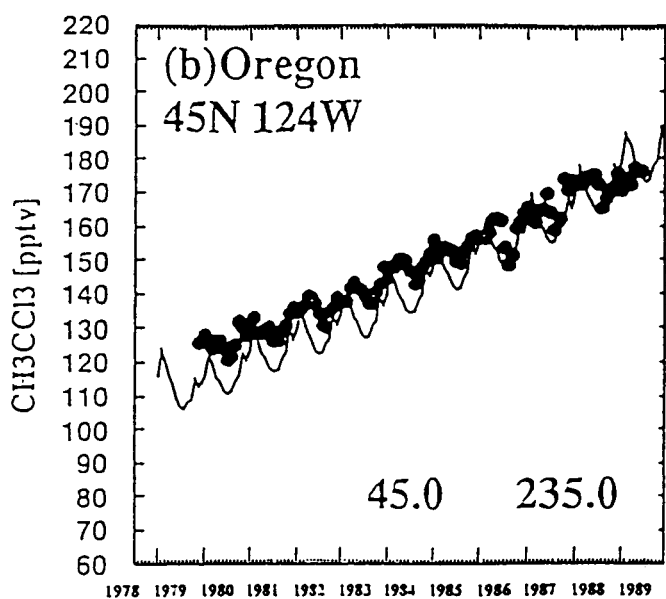
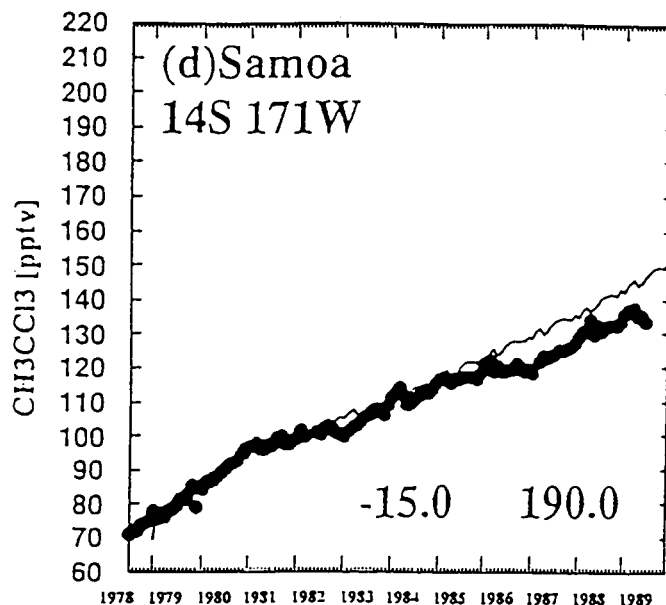
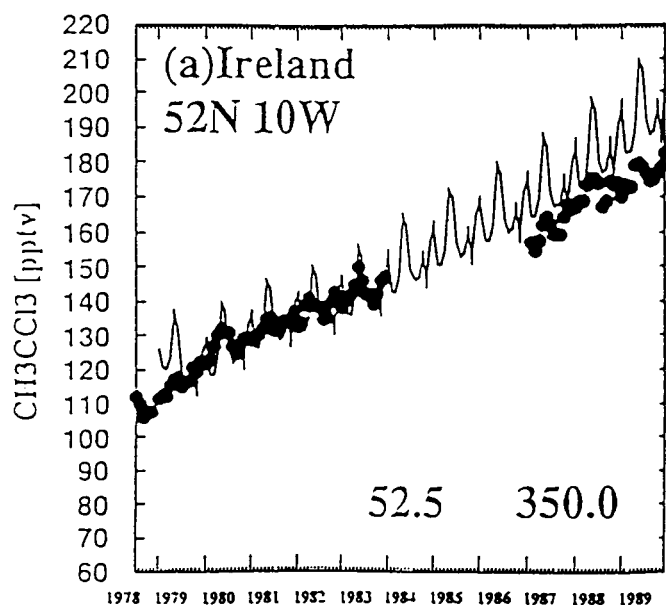
☒ 4. Location of the sites for which atmospheric CO<sub>2</sub> records were used in this study.



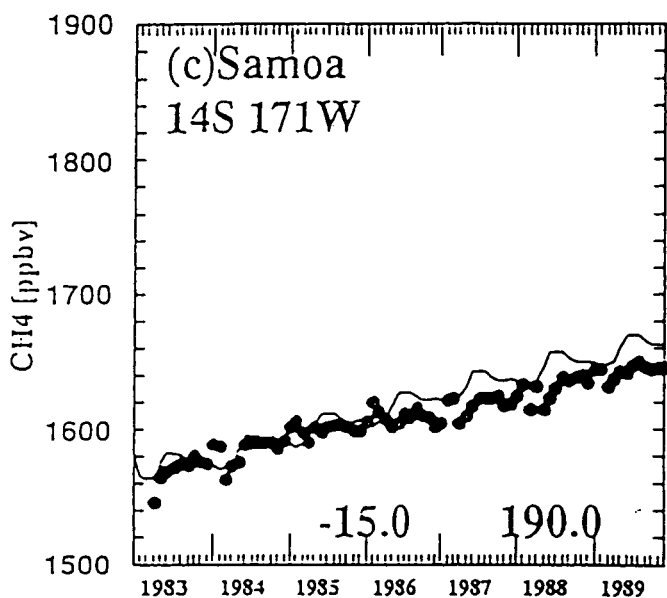
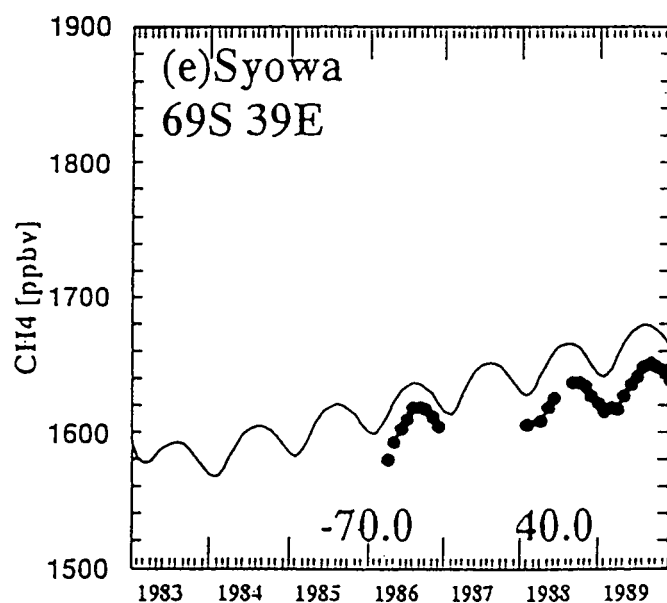
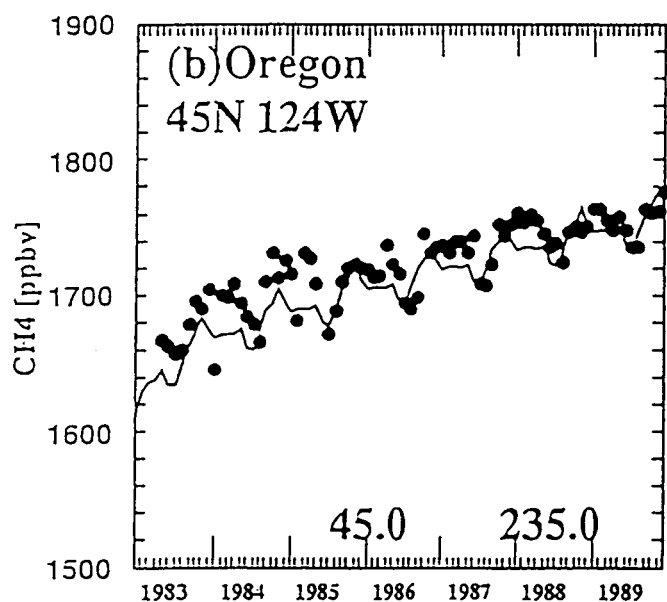
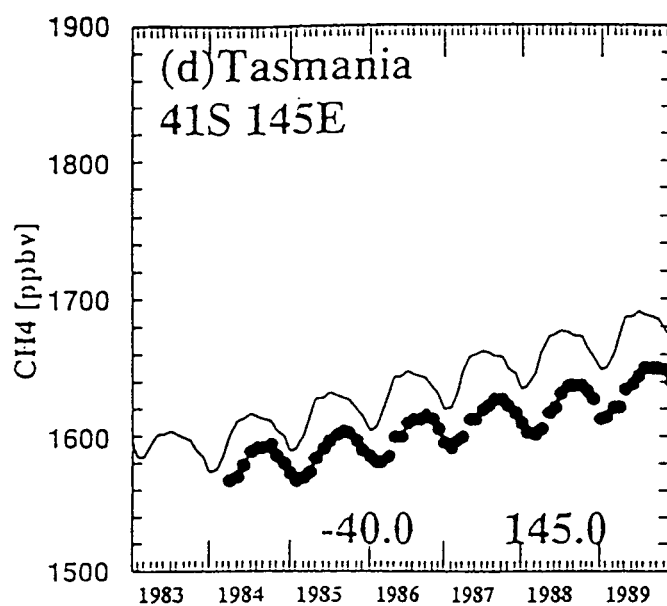
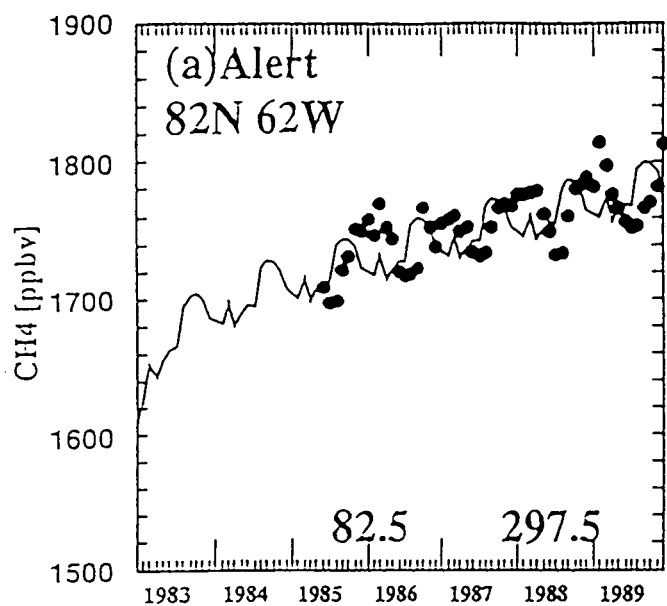
⊠ 5 Distribution of the emission of CO<sub>2</sub> produced by fossil fuel consumption in 2.5 degrees resolution. The distribution was created from the distribution given by TRANSCOM in 1x1 degree. The original value was estimated by Marland and modified by Fung et al..



☒ 6 Latitude distribution of sources and sinks of CO<sub>2</sub> produced by terrestrial biosphere in 2.5 degrees resolution. The distribution is created from the distribution given by TRANSCOM in 4x5 degrees, the unit used is GtC/month. The sources and sinks changed step-wise at the first day of each month.

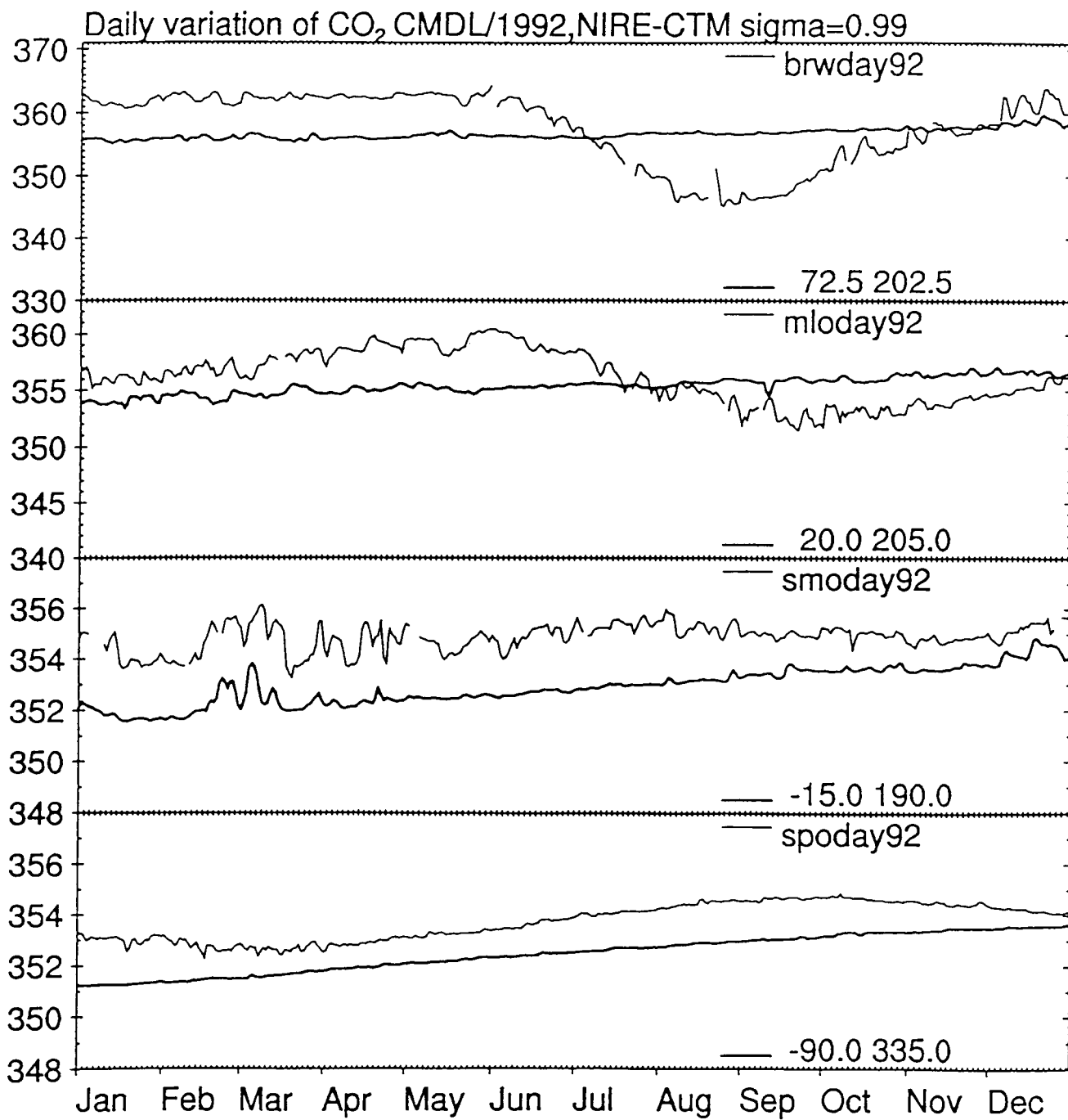


☒ 7: Methyl chloroform concentration recorded at five ALE sites for the period 1978-1983 as reported by *Prinn et al.* [1992] along with corresponding model predictions. (a) Ireland, (b) Oregon, (c) Barbados, (d) Samoa, (e) Tasmania.

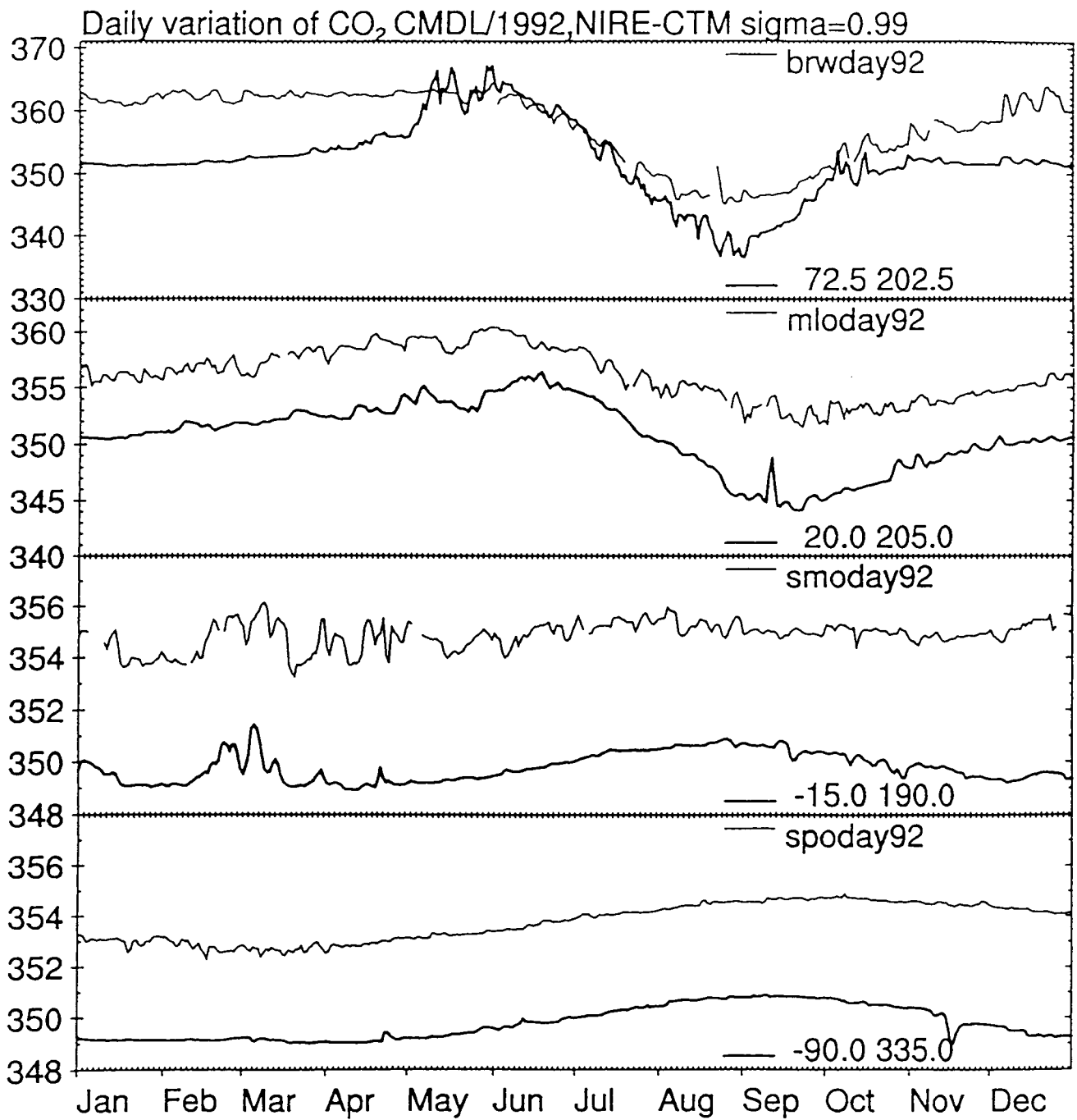


☒ 8: Methane concentration recorded at five GMCC sites for the period 1983-1988 as reported in *Trends '91* [1991] along with corresponding model predictions. (a) Alert, (b) Oregon, (c) Samoa, (d) Tasmania, (e) Syowa.

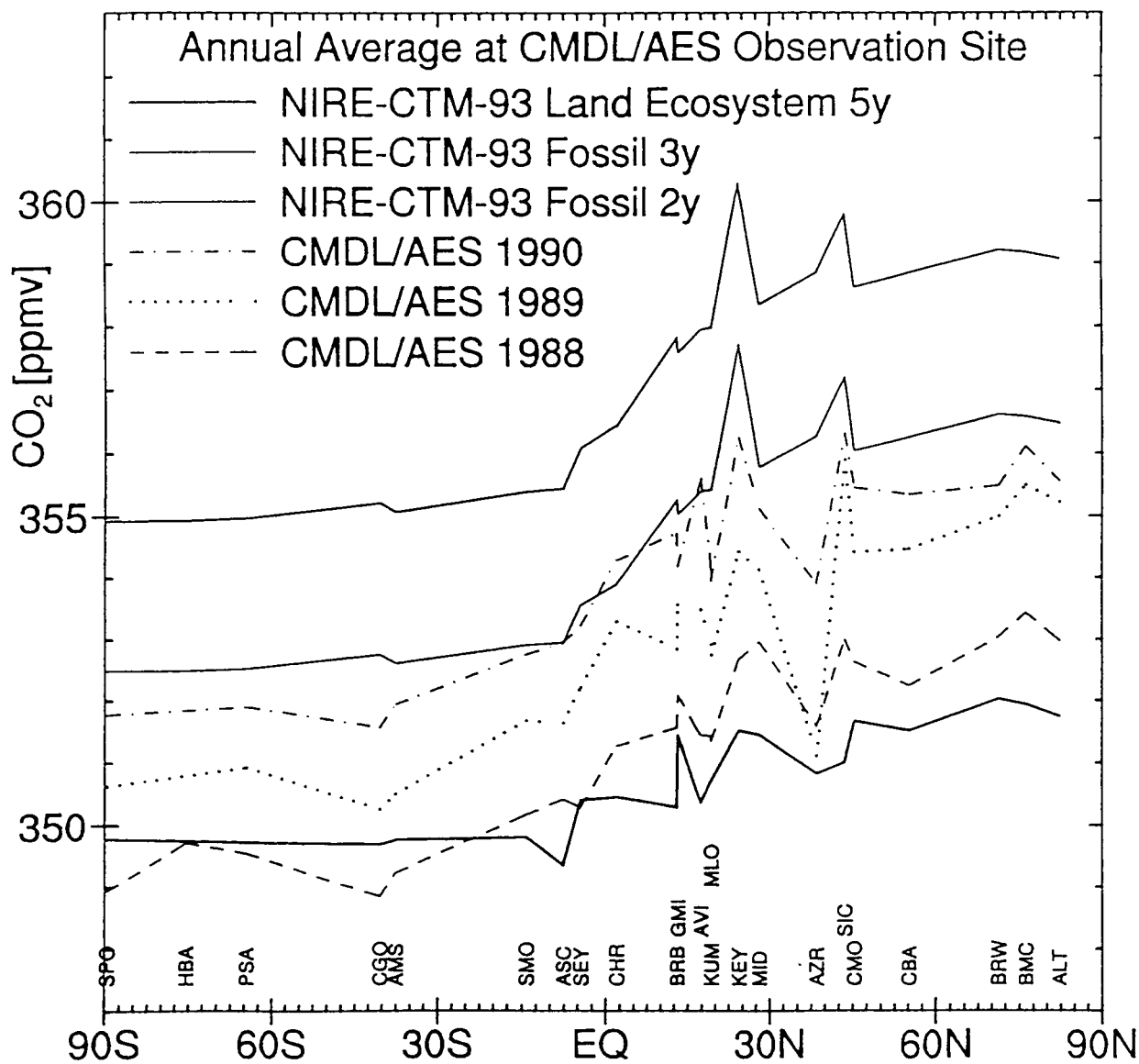




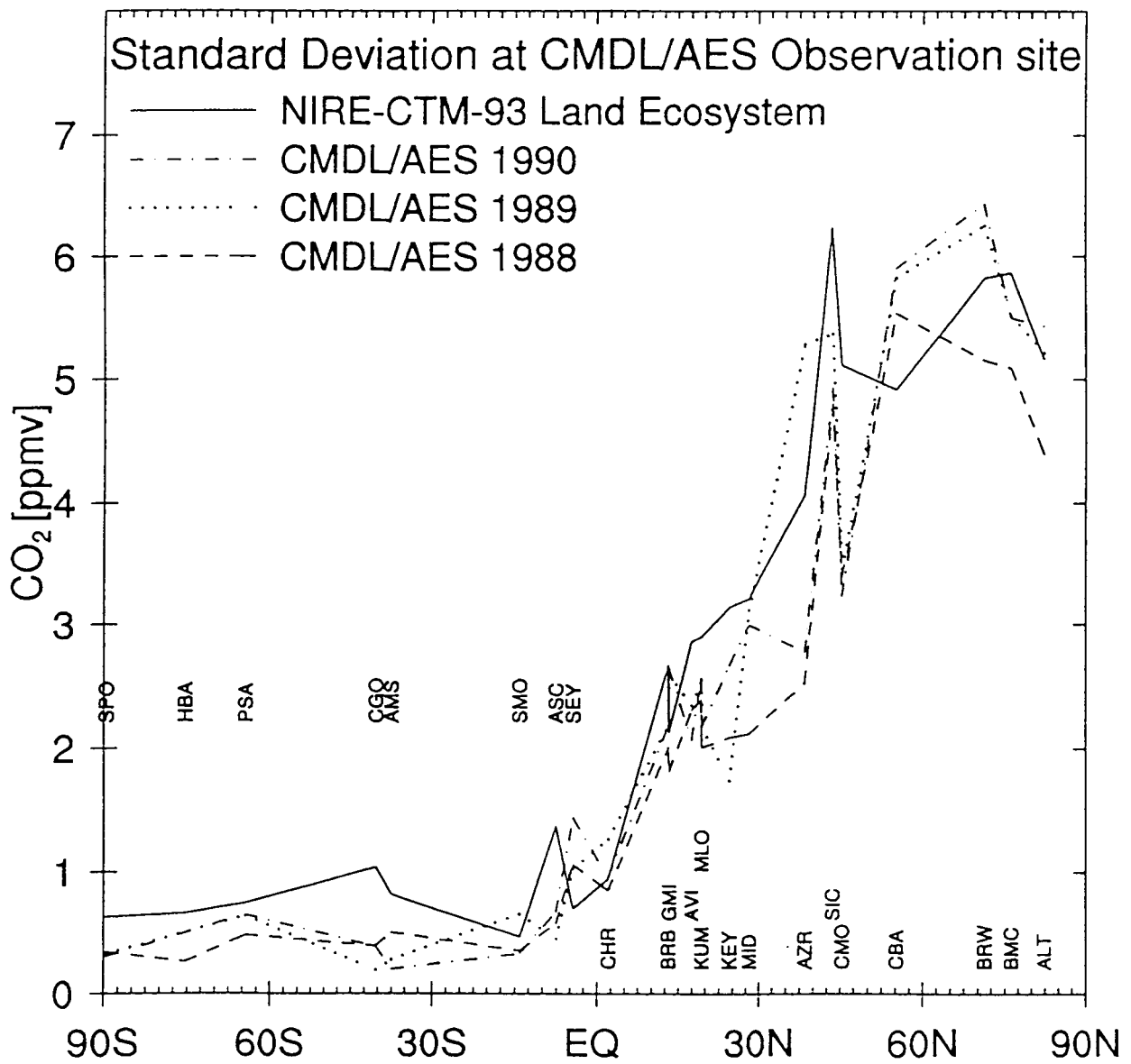
☒ 9 Daily variations of CO<sub>2</sub> at CMDL sites in 1992 and the second model year. (a) Point Barrow, (b) Mauna Loa, (c) Matatula, (d) Amundsen Scott.



☒ 1 0 Daily variation of CO<sub>2</sub> produced by terrestrial biosphere at CMDL sites. (a) Point Barrow, (b) Mauna Loa, (c) Matatula, (d) Amundsen Scott.



☒ 1 1 Annual average concentration of CO<sub>2</sub> at observation sites. Three years of observation (88,89,90) and two years of simulation (2nd and 3rd) are shown.



⊠ 1 2 Standard deviation of CO<sub>2</sub> at observation sites. The temporal trend is subtracted from the observation before the calculation of the standard deviation.