

## 2. 試料採取方法の確立

### 2-1 採取容器の保存性試験

#### 2-1-1 採取容器（フラスコ）

図 2-1 は、今回の JMA の航空機観測のために新規に製作した日本アンス社（JANS）製の採取容器（フラスコ）の概略図を示している。本フラスコの製作に当たっては、自衛隊輸送機のキャビン座席における手動サンプリングに適合するように、安全性、堅牢性や軽量性を重視したチタン製のフラスコを選択した。フラスコは約 1.7L の内容積で、厚さは 1.2～1.5mm、重量は約 350g となり、運搬が比較的容易で、新たな分光分析計においても分析使用量を十分確保できることを考慮して製作された。また、保存期間中の濃度安定性を高めるため、容器内面を電解研磨処理し、その表面を約 0.3（Rmax 値）まで滑らかにした。さらに、ガラスフラスコが金属製と比較して酸化などのガスとの反応が少なく、高い保存性を有することに着目し、チタン製フラスコの内面にアモルファスシリコンを 1 $\mu$ m 以下に蒸着し、コーティングする手法を用いることとした。この手法は、アメリカのガスメーカーにおいて高圧ガス容器内面の腐食を防止するために開発されたもので、耐衝撃性にも優れている（Smith *et al.*, 2006）。なお、フラスコの両端には、ステンレス製の手動ベローズバルブ（Swagelok、SS-4H）を取り付けた。本フラスコは、観測のために合計 60 本製作し、保存性能の試験を実施して、個々の特性を詳細に調べた上で観測に使用することとした。

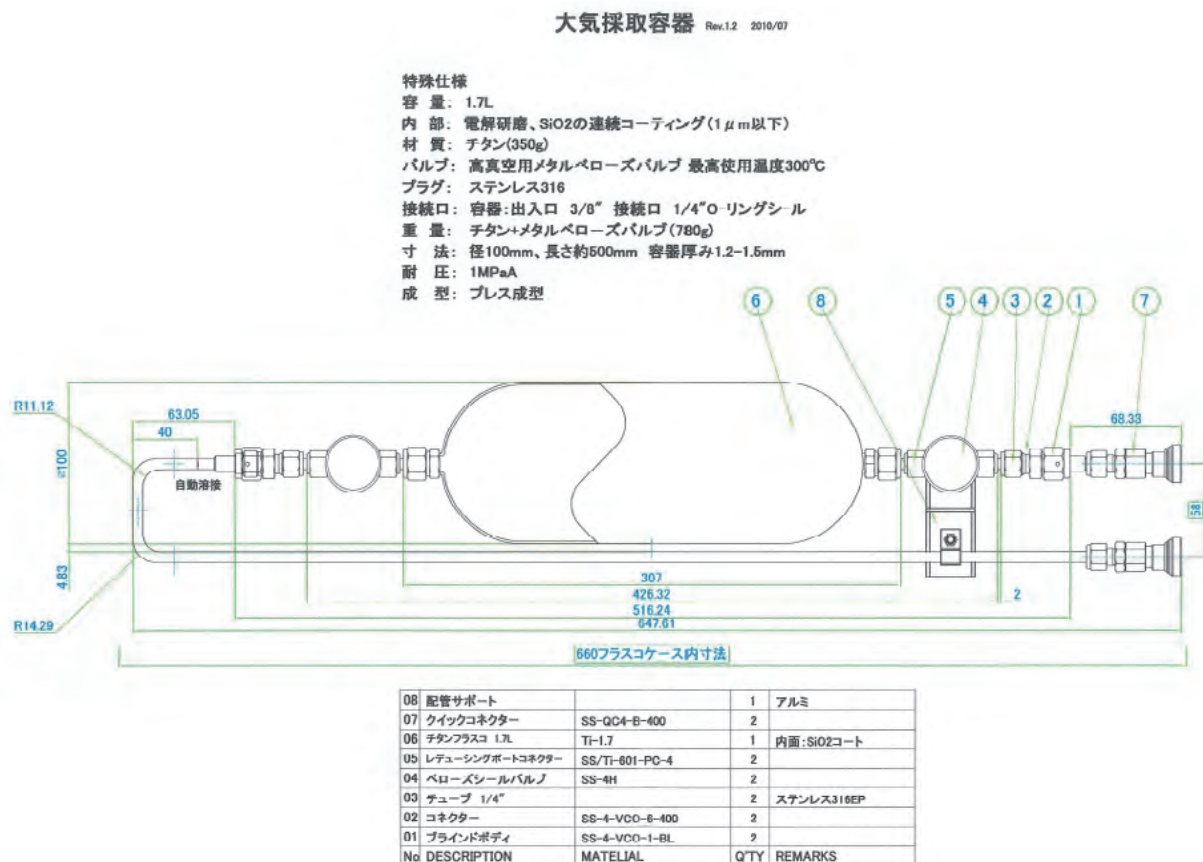


図 2-1 大気採取容器(フラスコ)の概略図。

## 2-1-2 保存性能試験の方法

フラスコの保存試験では、未処理の状態あるいは加熱真空引き処理した後に、乾燥した実際の大气試料を封入して実施した。試験用の大气試料としては、MRI 屋上でサンプリングしたものが大部分で、一部の試験では、市販の除湿空気（太陽日酸（株）製）と航空機で採取した実際の大气試料を使用した。なお、フラスコの加熱真空引き処理については、主に内壁面の不純物を除くための洗浄を目的として、産業技術総合研究所（AIST: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology）が採用している方法に準じて実施した。これは、120℃で約 12 時間、真空引き（ $1 \times 10^{-6}$  Torr）する処理方法である。

試験用の空気試料は、フラスコに 2～3 気圧程度の加圧状態で封入した直後、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、CO の微量気体濃度を測定した。その後、室温にて 2 日～11 日の間保存した後、再測定を行い、最初の測定値との差から濃度変化の程度を評価した。本報告では、保存後の測定値から保存前の値を差し引いて一日当たりの変化速度（ppm/day あるいは ppb/day）を求め、その値をフラスコの保存性能の評価基準とした。

微量気体の分析は、MRI の装置を使用して実施した（Matsueda and Inoue, 1996; Matsueda *et al.*, 1998）。CO<sub>2</sub> は非分散型赤外線分析計（Rosemount, Binos 4.1）、CH<sub>4</sub> と CO は水素炎検出器を備えたガスクロマトグラフ（Yanaco, AG-1F）を使用した。分析精度は、CO<sub>2</sub> で約 0.03ppm、CH<sub>4</sub> と CO は約 3ppb である。なお、分析にはいずれも同じ 5 本の標準ガスを逐次導入して、濃度測定の基準を統一して実施した。

## 2-1-3 フラスコ処理方法の違い

図 2-2 は、フラスコを未処理の状態ですべて最初に大气試料を封入して、CO<sub>2</sub> 濃度を測定した際の濃度変化を評価した結果を示している。合計 42 本のフラスコのデータが得られ、全体的に保存期間中は CO<sub>2</sub> 濃度がやや増加する傾向が見られた。42 本のデータの平均変化速度は +0.023ppm/day で、標準偏差は 0.020ppm/day であった。

図 2-3 は、フラスコを未処理の状態ですべて最初に大气試料を封入した実験（「未処理 1 回目」）と、その実験が終了した後、再度未処理の状態で大気試料を封入した実験（「未処理 2 回目」）におい

て CO<sub>2</sub> 濃度を測定し、その濃度変化を評価した結果を比較して示してある。合計 8 本のフラスコにつ

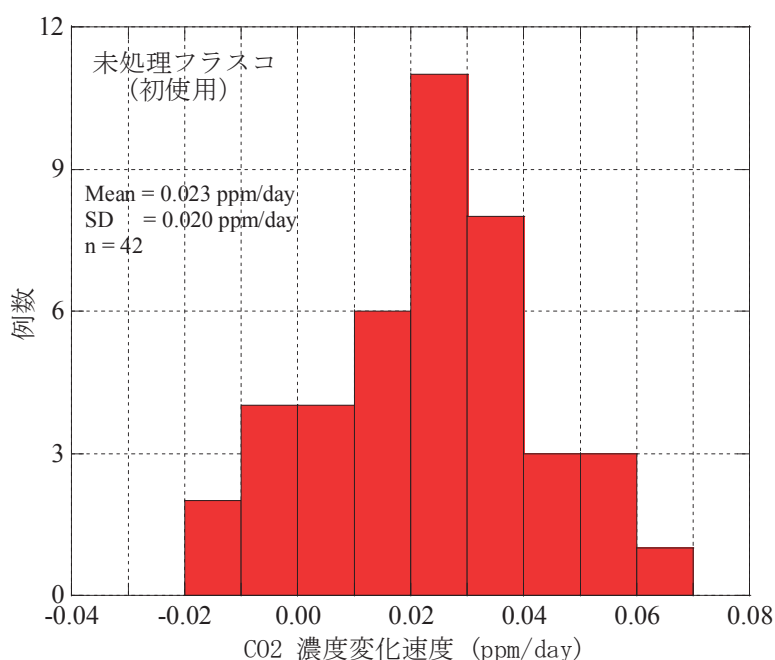


図 2-2 未処理フラスコに充填した試料空気中の CO<sub>2</sub> 濃度の変化速度の頻度分布。

いて、充填回数が異なる比較データが取得された。図で明らかな通り、大気を再充填した「未処理 2 回目」の方が、初回の実験に比べて  $\text{CO}_2$  濃度の変化速度が減少し、保存性能の向上が認められた。これは、フラスコ内面が充填を繰り返すことによって大気試料に「なじむ」効果によるものと推定される。このメカニズムについては不明であるが、大気試料の充填を繰り返すことによって  $\text{CO}_2$  の保存性能が改善されることが確認できた。

図 2-4 は、フラスコを未処理の状態で最初に大気試料を封入した実験（「未処理」）と、フラスコを加熱真空引きして大気試料を封入した実験（「加熱処理」）で  $\text{CO}_2$  濃度を測定し、両者の濃度変化を比較した結果を示してある。ここでは、合計 14 本のフラスコの比較データを示しているが、このうち 6 本（フラスコ番号 39～44）は加熱処理前に未処理での再充填実験を行っ

ている。図で明らかな通り、フラスコを「加熱処理」した方が、未処理に比べて  $\text{CO}_2$  濃度の変化量が減少し、保存性能の向上が認められた。この結果は、上述したフラスコ内面が大気試料に「なじむ」効果も含まれているが、少なくとも再充填を含む加熱処理プロセスで保存性能が改善されることを示

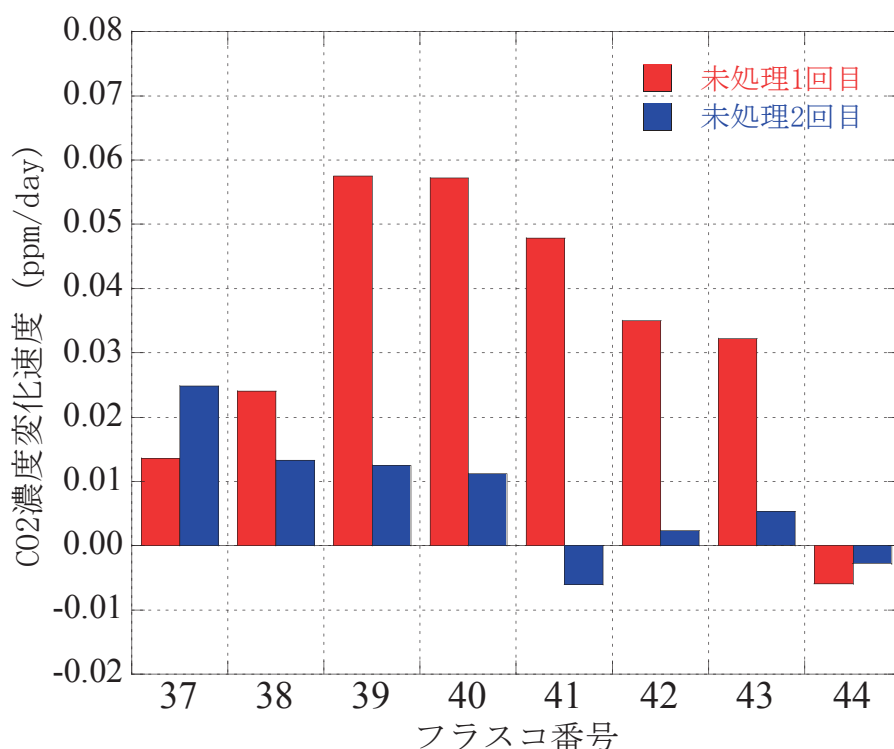


図 2-3 8本の未処理フラスコに充填した試料空気中の  $\text{CO}_2$  濃度の変化量。赤と青はそれぞれ 1 回目と 2 回目の充填結果を示す。

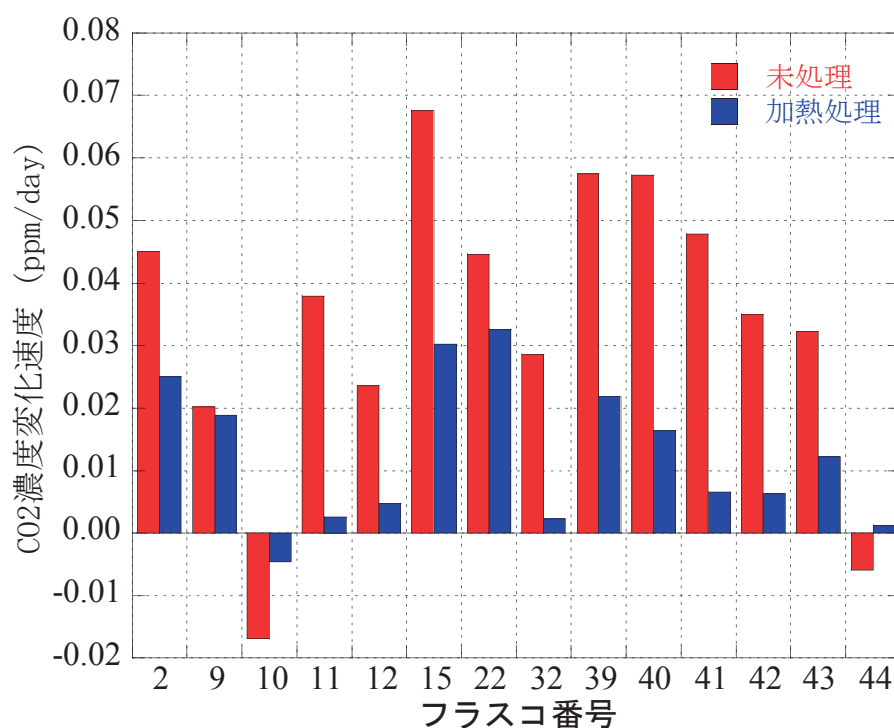


図 2-4 フラスコに充填した試料空気中の  $\text{CO}_2$  濃度の変化量。赤と青はそれぞれ未処理と加熱処理の結果を示す。

した。

図 2-5 は、フラスコを未処理あるいは加熱処理後に複数回測定した実験の結果を CO<sub>2</sub> の濃度変化量で比較した結果を示してある。フラスコの未処理 1 回目の測定結果に比べると、再充填あるいは加熱処理後にはいずれもフラスコの変化量が小さくなることが分かった。また、測定回数が多いほど保存性能が向上する傾向が見られたが、加熱処理後 4 回目の測定が若干大きい濃度変化傾向を示した。但し、データの振れ幅も大きく、データ数も限られていることから、現時点では誤差の範囲と考えられる。少なくとも、再充填処理や加熱処理の過程で、保存性能が悪化することは認められなかったが、+0.005ppm/day 以下の CO<sub>2</sub> の濃度上昇を防止することはできなかった。

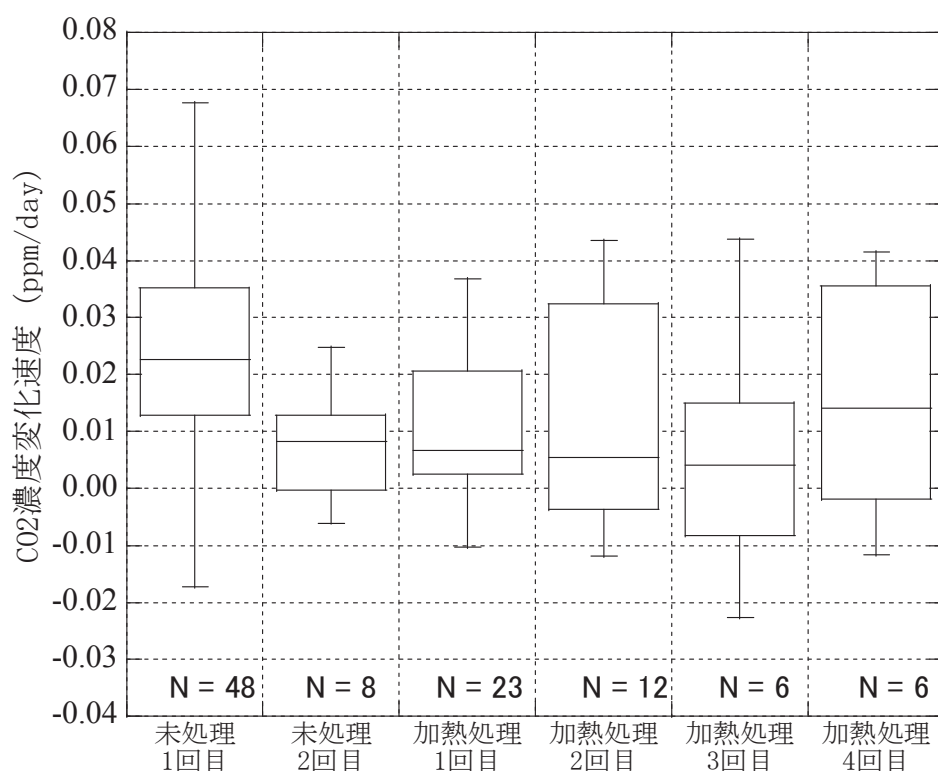


図 2-5 未処理時と加熱処理を繰返した際のフラスコに充填した試料空気中の CO<sub>2</sub> 濃度の変化量。

上記の結果から、加熱真空引きによる処理がフラスコの濃度安定性に有効であることが分かったことから、本観測では自動で観測使用前に加熱真空引きなどの前処理を行う装置を製作することとした。図 2-6 に、自動フラスコ前処理装置の概要を示す。この装置は、6 個のフラスコが接続でき、加熱、真空引き、接続ガスによるパージ・充填を行うものである。フラスコの加熱はマントルヒーターを利用し、温度センサーと電源変圧器により加熱温度を制御した。フラスコ内部の真空引きは、回転式真空ポンプを利用し、 $1 \times 10^{-3}$  Torr オーダーまで吸引を行うことが可能である。また、高圧ガス容器を 1 本接続できる経路を設けており、このガス（純空気、窒素、標準ガス等）によりフラスコのパージや充填を行うことが出来る。これらの前処理の動作は、フラスコの前段と後段に設けられた電磁弁と経路上の電磁弁により、すべて PC で自動制御できる。現在、観測に使用するフラスコは、130℃に加熱

した状態で 6～8 時間の真空引きを行う条件で前処理を実施している。

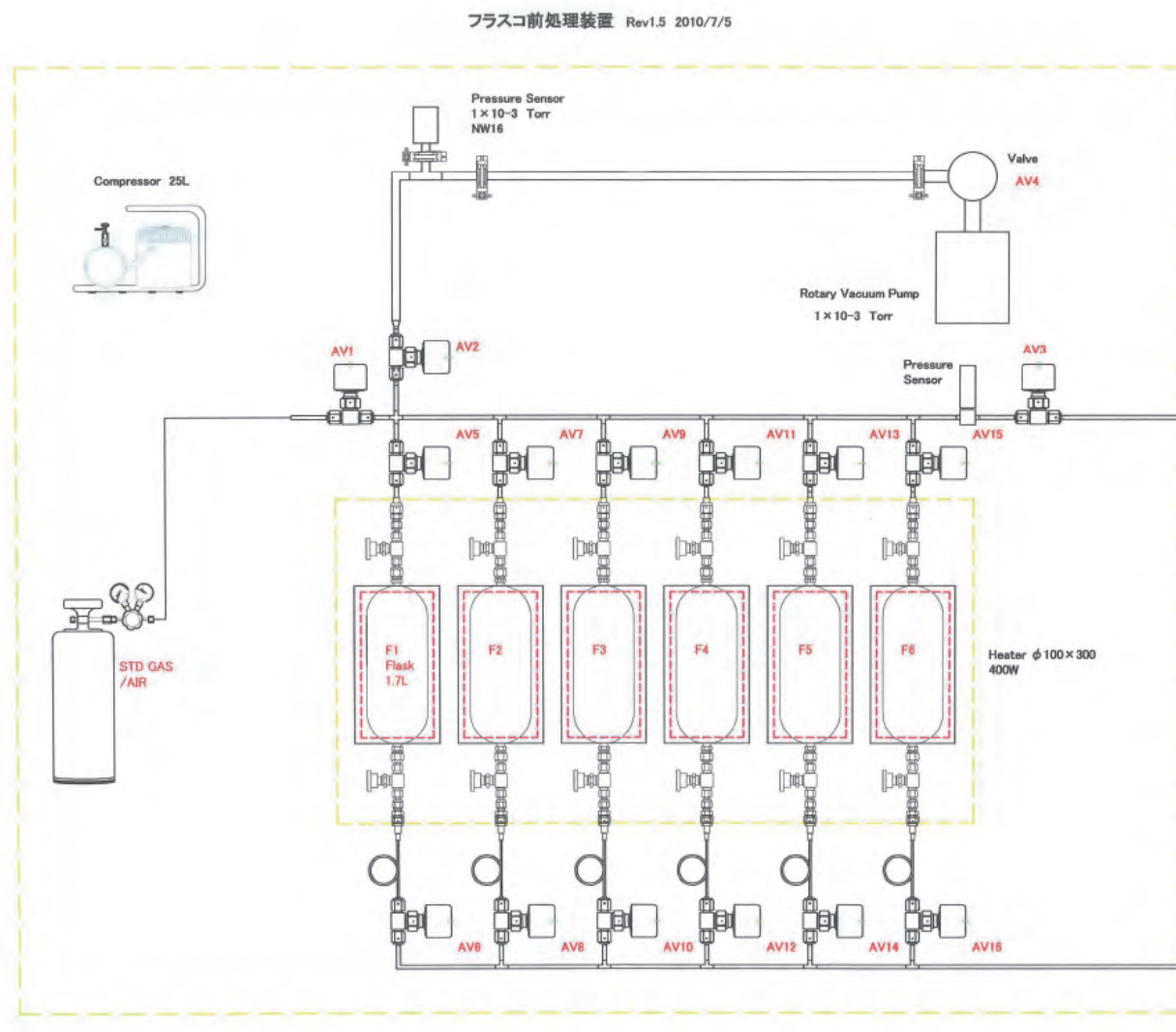


図 2-6 自動フラスコ前処理装置の流路図。

#### 2-1-4 保存性能評価の結果

図 2-7(a)は、23 本のフラスコを加熱処理後に複数回測定した際のすべての結果について、CO<sub>2</sub> の濃度変化量を頻度分布として示してある。これらの詳細な結果は、フラスコ番号別に図 2-7(b)にプロットしてある。今回は、合計 48 個のデータを取得した。全データの平均変化速度は+0.012ppm/day で、標準偏差は 0.017ppm/day であり、保存期間に CO<sub>2</sub> の濃度が若干上昇する傾向が見られた。しかし、図 2-2 で示した未処理の状態の濃度変化+0.023ppm/day（標準偏差は 0.020ppm/day）と比べると、2 倍程度の保存性の向上が認められた。加熱処理フラスコに見られた若干の濃度上昇の原因については、フラスコ内壁面からの CO<sub>2</sub> の放出によるもののほか、実験中の試料圧力の低下や汚染及び、分析誤差などのいくつかの不確定要因も含まれている。従って、実際の保存期間中の濃度ドリフトは、ここで評価されたものよりも小さいと考えられる。

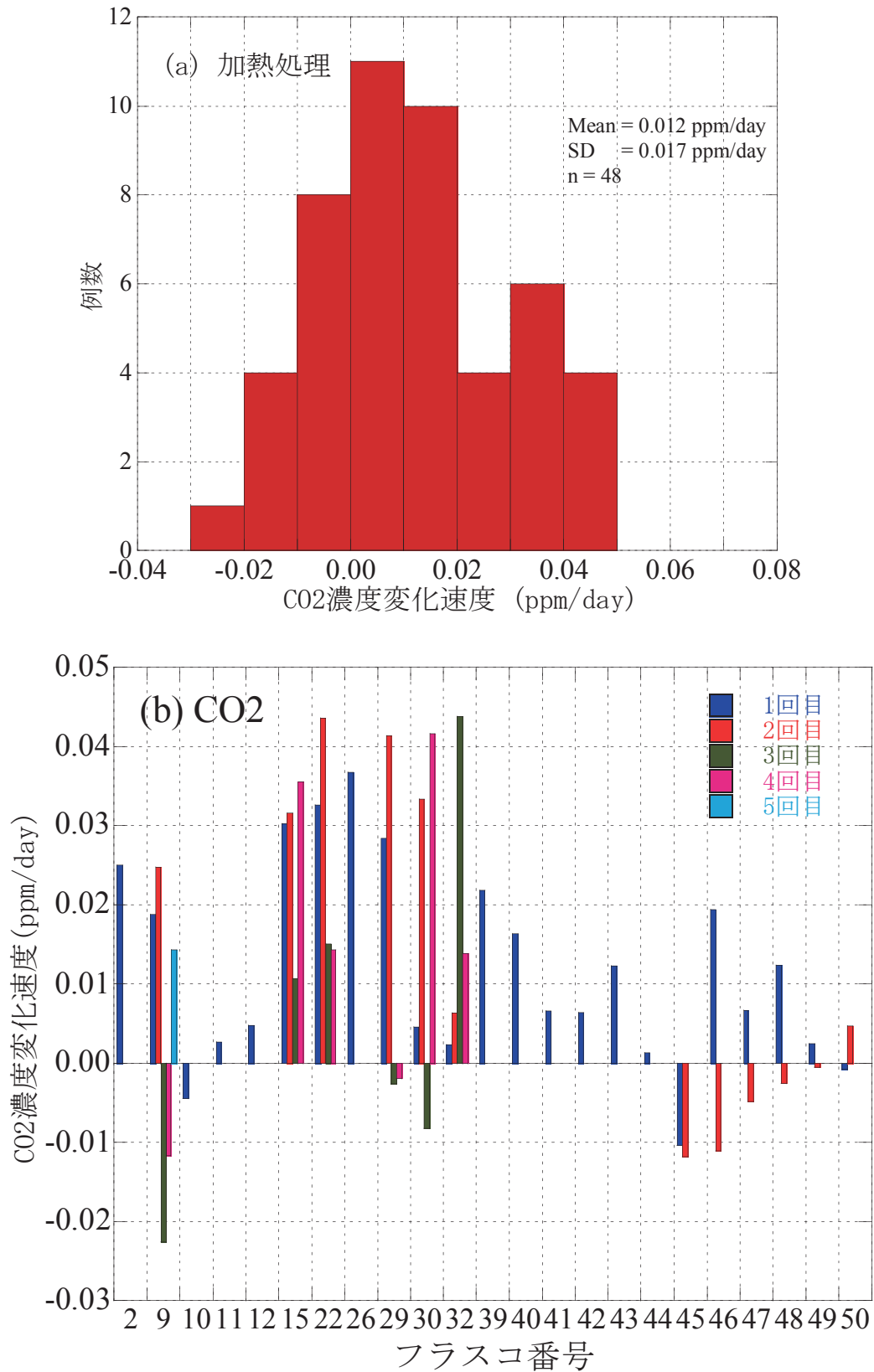


図 2-7 加熱処理後のフラスコに充填した試料空気中の CO<sub>2</sub> 濃度の変化量。上図(a)は全データの頻度分布、下図(b)は各フラスコのデータを示す。

図 2-8 は、フラスコ内での  $\text{CH}_4$  の濃度変化を評価した実験結果を示してある。未処理のフラスコ（1～6 番のフラスコ）の実験では、2010 年 10 月の航空機試験観測において大気試料を加圧採取し、9～10 日の期間において  $\text{CH}_4$  を再分析し、時間変化量を評価した結果を示した。さらに、未処理のフラスコ（13～22 番のフラスコ）に MRI 屋上で採取した大気試料を 5～6 日保存した実験も行った。これら未処理フラスコの結果と比較するために、加熱処理した後のフラスコの実験では、2010 年 11 月の航空機試験観測で得られた大気試料を 11 日の期間において  $\text{CH}_4$  濃度を再分析し、濃度変化量を評価した。加熱処理した 28 個のフラスコ実験で得られた平均変化量は  $+0.05\text{ppb/day}$  で、その標準偏差は  $0.27\text{ppb/day}$  となり、顕著な濃度変化はほとんど起こっていないことが認められた。また、未処理のフラスコの結果と比較すると、明らかにフラスコ間の値のばらつきも小さくなり、加熱処理によって保存性能が均一となる傾向が認められた。

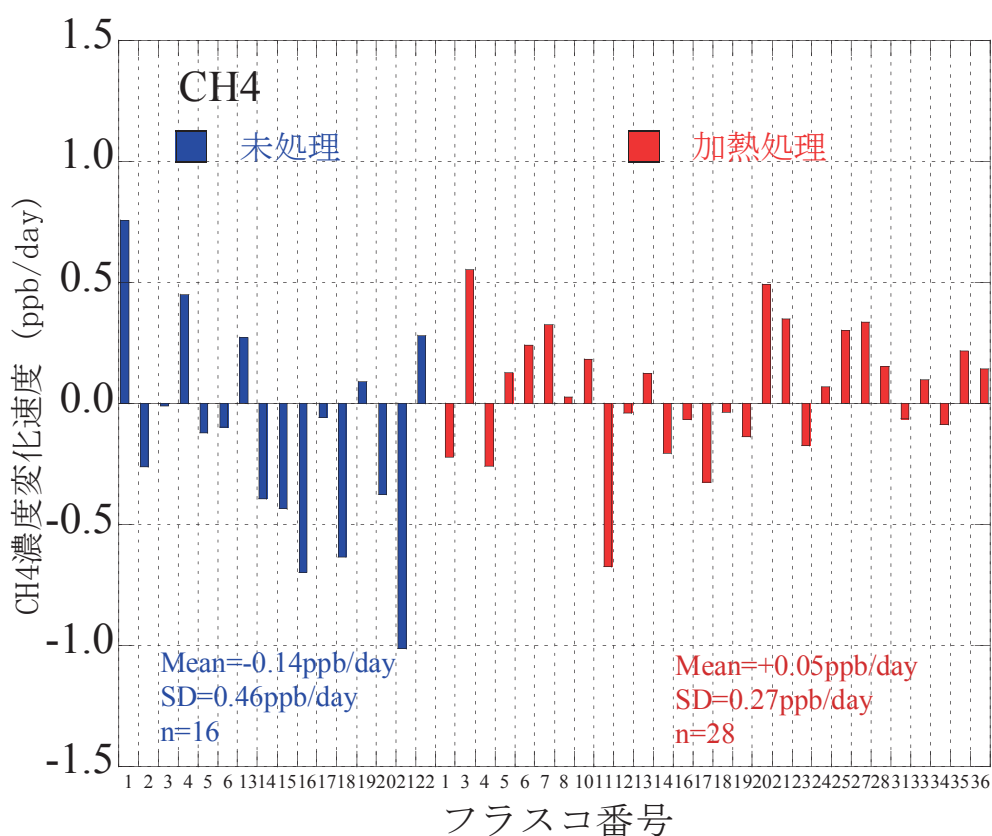


図 2-8 未処理（青）と加熱処理（赤）のフラスコに充填した試料空气中的  $\text{CH}_4$  濃度変化速度。

図 2-9 は、フラスコ内での  $\text{CO}$  の濃度変化を評価した実験結果を示してある。未処理のフラスコと加熱処理した後のフラスコの実験は、上述の  $\text{CH}_4$  と全く同じ条件で実施し、両者の濃度変化速度の違いを比較した。加熱処理した 28 個のフラスコ実験で得られた  $\text{CO}$  の平均変化速度としては  $+0.19\text{ppb/day}$  で、その標準偏差は  $0.44\text{ppb/day}$  となった。これは、未処理のフラスコの平均変化速度 ( $+0.37\text{ppb/day}$ ) と比較して、約 2 倍近く保存性能が向上したことを示した。フラスコ内での  $\text{CO}$  濃度のドリフトについては、電解研磨したチタン製でも認められており、容器内面の残留有機物の酸化分解によって  $\text{CO}$  が発生するためと考えられている (Matsueda *et al.*, 1998)。この先行研究の結果では  $\text{CO}$  の濃度変化速

度が約+0.6ppb/day と報告されていることから、本研究で加熱処理したフラスコの方が約 3 倍も保存性能に優れていることが分かった。この違いは、内面のコーティングと加熱処理による残留有機物の除去の効果と推定された。

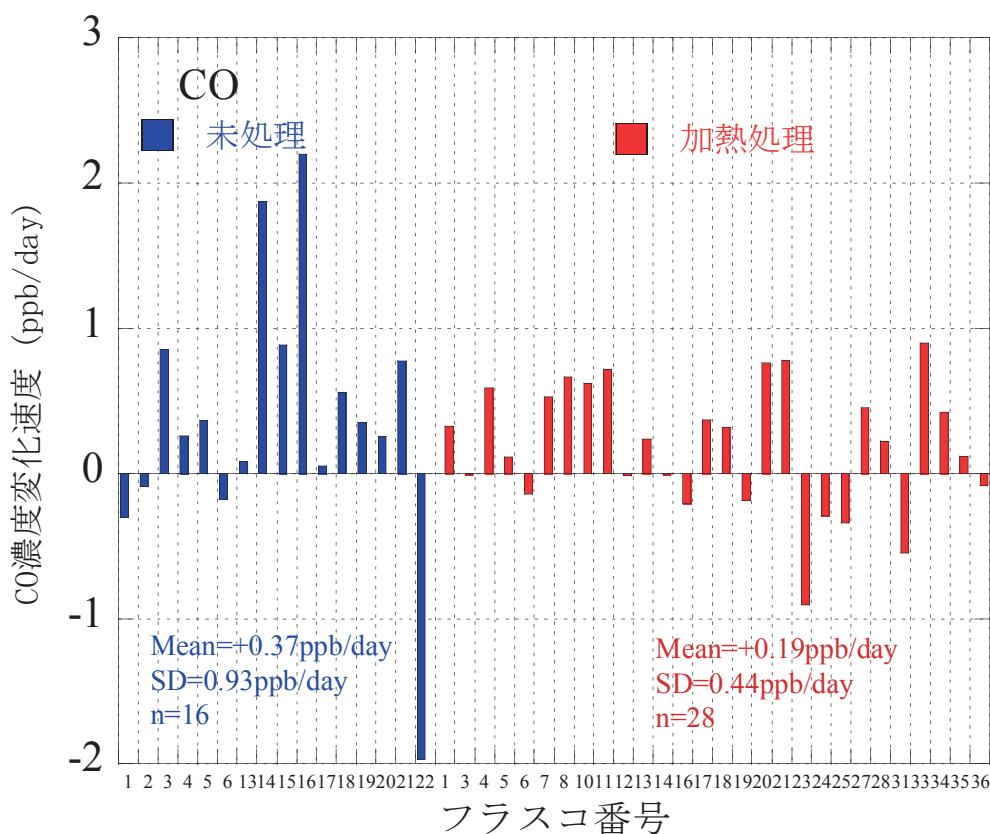


図 2-9 未処理（青）と加熱処理（赤）のフラスコに充填した試料空气中的 CO 濃度変化速度。

## 2-1-5 保存性能試験のまとめ

JMA の航空機観測で使用する新型の大気採取フラスコについて、保存性能試験を実施し、以下の結果を得た。CO<sub>2</sub> 濃度の変化量は、未処理の初回充填実験では平均+0.023ppm/day (SD:0.020ppm/day, n=42)であったのに対して、再充填を含めた加熱処理の後では平均+0.012ppm/day (SD:0.017ppm/day, n=48)となり、CO<sub>2</sub> の保存性能が向上したことが分かった。CH<sub>4</sub> 濃度の変化量は、加熱処理後には平均+0.05ppb/day (SD: 0.27ppb/day, n=28) であり、CO の場合には平均+0.19ppb/day (SD: 0.44ppb/day, n=28) であり、未処理のフラスコに比べてそれぞれ保存性能の向上が確認された。これらの結果から、JMA の航空機観測において採取した大気試料を数日以内に分析する場合には、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、CO の測定値に対する保存期間中の濃度変化を補正する必要はないと言える。但し、今後フラスコを使用し壁面に汚染などが生じると保存性能が損なわれる恐れもあるため、試験を適時実施して確認することが必要である。

## 2-2 航空機の採取空気の評価

### 2-2-1 空気採取比較実験の方法

自衛隊輸送機 C-130H を利用して上空の大気試料採取を行う場合、直接外気を取り入れるためのインレットを機体に取り付けることは困難であった。そこで、機体のエアコンシステムを通して取り込まれている外気を試料空気として採取することにした。外気は圧縮されてウォーターセパレーターで除湿された後、ダクトを通して機内に吹き出す。この空気の吹き出し口にはアイボールが取り付けられている。そこで、このアイボールから空気を採取することにした。図 2-10 は、アイボールから空気を取り出すための接続配管の方法の概略図を示してある。2010 年 6 月から 8 月往路までの期間は、アイボールとテフロン管をテープで固着するシーリング方式による接続法を採用したが、8 月復路以降の採取ではオーバーフローする空気の一部を採取するオーバーフロー方式に変更した。これは、シーリング方式ではアイボールから吹き出す空気の流れが止まってしまうために、機内の汚染空気の混入や位置を記録した場所と空気を採取した場所の乖離が起り得ることからである。採取する大気試料は、アイボールから 1/4 インチのテフロン配管（約 8~10m）を通して、手動ポンプによる吸引によってフラスコに導き、フラスコ内の空気を十分置換した後に、2~3 気圧程度まで加圧採取して持ち帰ることとした。



オーバーフロー方式

図 2-10 試料採取口（アイボール）と配管接続図。

自衛隊輸送機のアイボールから採取されるエアコン空気が微量気体の分析に適する試料であること、及び採取における機内の汚染がないことを確認するため、南鳥島上空の低高度 1000 フィートにおける旋回飛行を特別に実施して、飛行ごとに 4 本のサンプルを採取した。これらの低空で採取した大気試料と比較するために、南鳥島に到着後、観測所の屋上において手動ポンプによる地上付近の大気をフラスコに加圧採取した。地上大気試料は、直ちに南鳥島気象観測所で運用している JMA の連続測定システムを利用して CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 及び CO の濃度測定を行った。この JMA の連続測定システムにおける分析方法は、CO<sub>2</sub> は NDIR (LI-COR, LI-7000)、CH<sub>4</sub> は GC/FID (ラウンドサイエンス, RCG-1)、CO は GC/RGD (ラウンドサイエンス, TRA-1) による。さらに翌日、南鳥島を離陸する前に、同様な方法で観測所屋上にて再度フラスコサンプリングを行い、地上大気試料を持ち帰った。持ち帰った地上大気と航空機の試料は、MRI において微量気体濃度の分析を行った。MRI の分析方法と精度については 2-1-2 節で述べた通りであるが、JMA の連続測定システムとは異なる測定機器の種類と標準ガスのスケールを使用してい

る。なお、今回の比較採取実験では、MRI で保有しているステンレス製の金属フラスコ等を利用した。また、試料採取用のポンプは電気駆動式のダイヤフラムポンプ（KNF, N022）を手動式に改造したものを利用した。

## 2-2-2 比較実験の測定結果

2010 年 7 月から 12 月までの期間に毎月一回の頻度で、合計 6 回の C-130H 機による空気採取比較実験が実施された。図 2-11～2-13 は、毎月の南鳥島上空における航空機と地上観測所で得られたサンプルについて、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 及び CO 濃度を分析した結果を示している。毎月の観測で得られるフラスコ分析の結果は以下の 3 種類である。1) 高度 1000 フィートの航空機サンプルを MRI で分析した結果（C-130H-Flask(1000ft)）、2) 観測所屋上で採取したサンプルを MRI で分析した結果（MNM-Flask (MRI)）、3) 観測所屋上で採取したサンプルを南鳥島の連続測定システムで分析した結果（MNM-Flask (JMA)）である。また、これらのフラスコ測定データと比較するため、南鳥島観測所の連続測定システムで観測された値も示してある。なお、C-130H-Flask (1000ft) と MNM-Flask (MRI) との比較には連続測定システムの時別値を使用する一方、MNM-Flask (JMA) の場合には連続測定システムの瞬時値を比較の値として用いた。

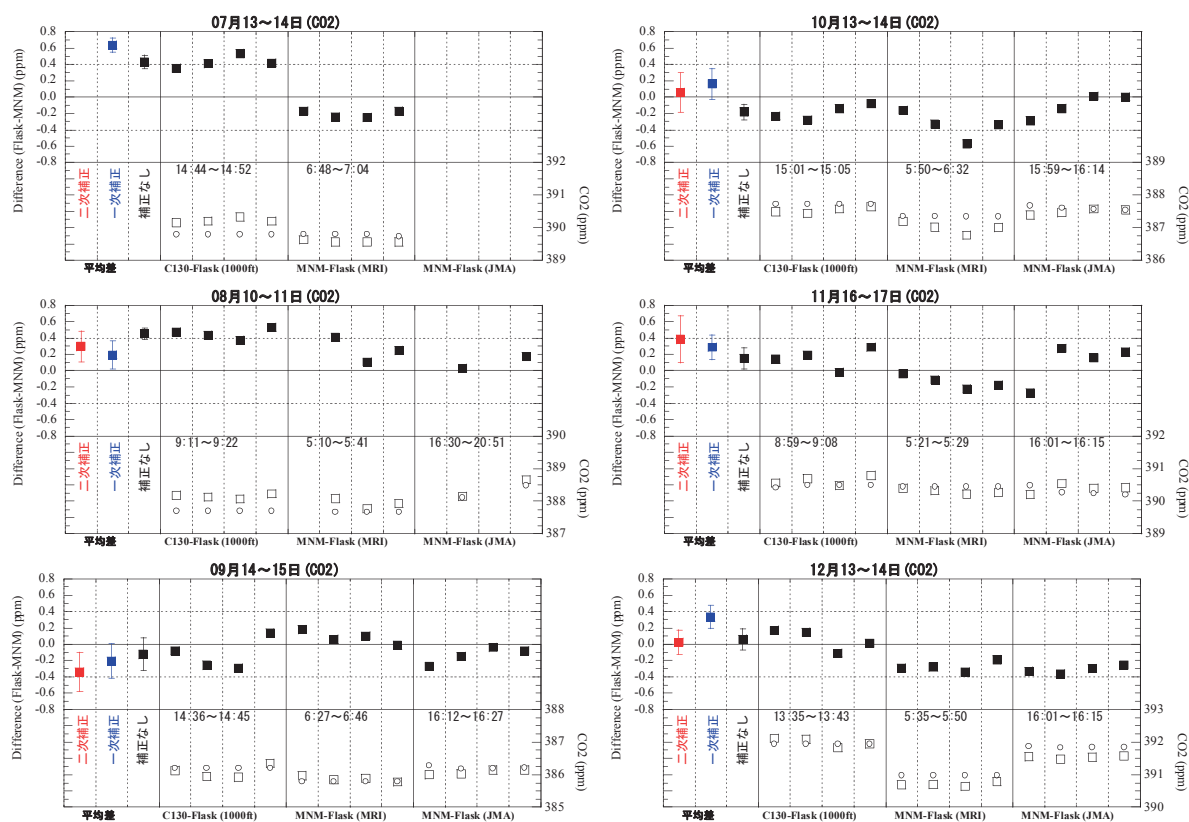


図 2-11 南鳥島上空での試験飛行による CO<sub>2</sub> 濃度の比較実験結果。観測データとその解析方法については本文中に記載している。

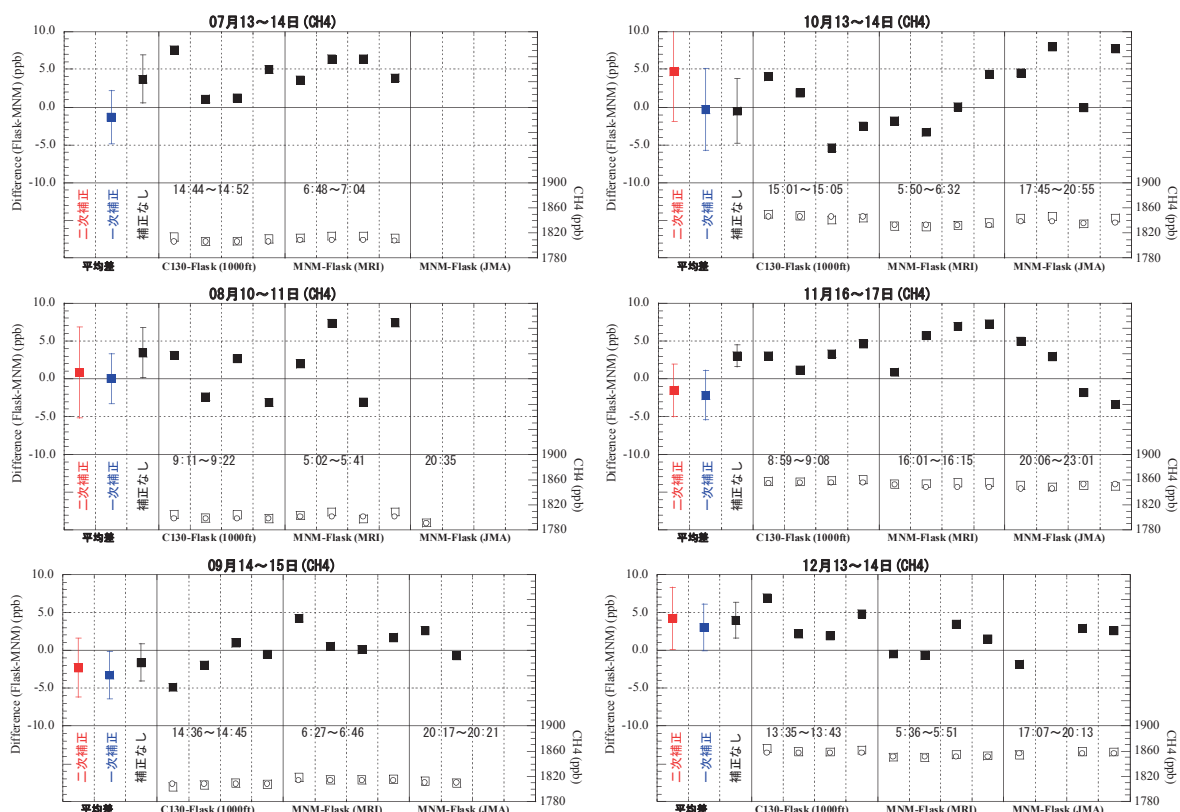


図 2-12 南鳥島上空での試験飛行による  $\text{CH}_4$  濃度の比較実験結果。観測データとその解析方法については本文中に記載している。

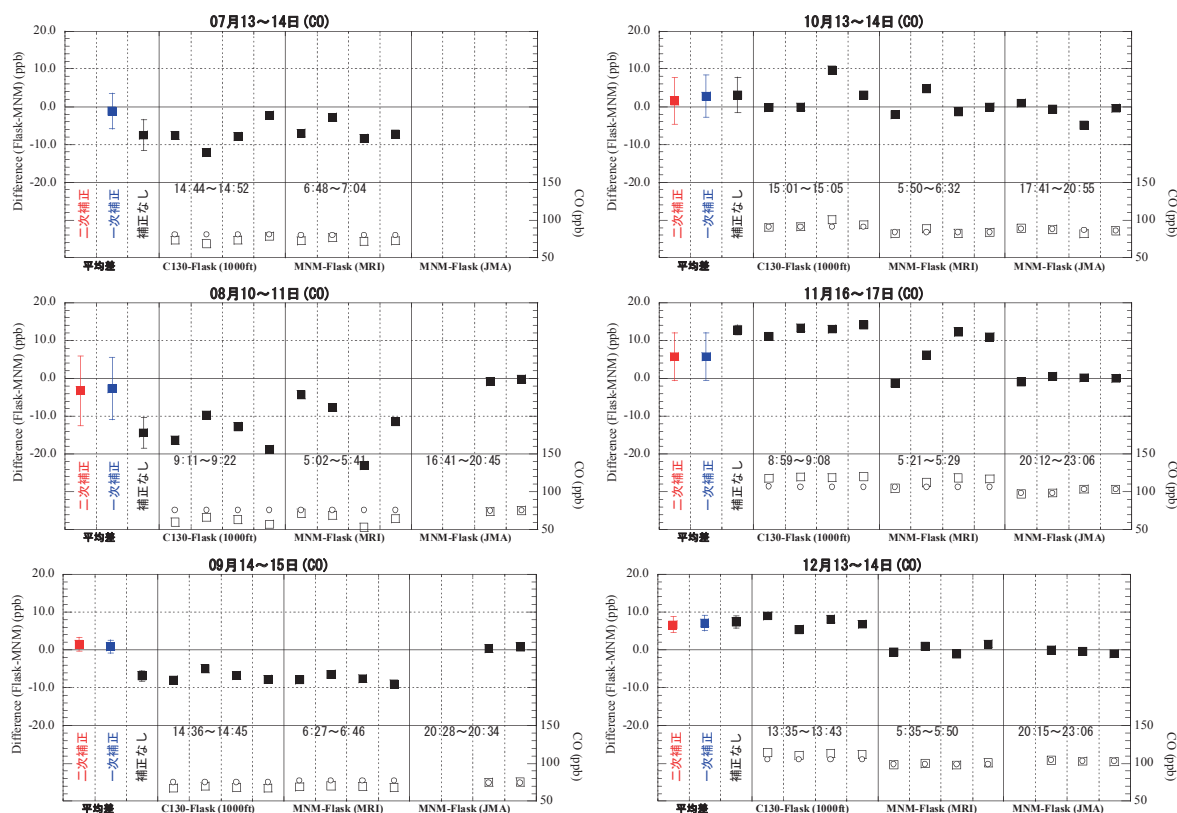


図 2-13 南鳥島上空での試験飛行による  $\text{CO}$  濃度の比較実験結果。観測データとその解析方法については本文中に記載している。

上述の比較採取実験で得られた測定結果を用いて、航空機によるフラスコサンプリングが適切であるかどうか評価するために解析を実施した。ここでは、南鳥島上空 1000 フィートで採取された航空機によるサンプルと地上の観測所で得られた測定結果の差を評価の基準として、以下の 3 つの方法で両者の差を評価した。第一は、「補正なし」の方法で、航空機の値と地上の連続測定システムの時別値を直接比較して、その差を算出した。第二の方法は「一次補正」で、航空機の値と地上のフラスコサンプルの値を比較する方法で、両者の値は連続測定システムの観測値を用いて補正した。この補正は、MRI と JMA の間の標準ガススケールの違いや分析手法に関連する器差を補正することを目的とした。第三の方法は、「二次補正」で、「一次補正」に加えて、さらに連続測定システムと地上フラスコサンプリングで採取高度による差があることを考慮して差を算出した。但し、この第三の方法は補正による誤差が累積するため、前者の 2 つの方法に比べて相対的に不確実性が大きくなっていると考えられる。以下に、3 つの方法による計算式をまとめて示す。

方法—1：「補正なし」=  $FA_{MRI}-CM_i$

方法—2：「一次補正」=  $(FA_{MRI}-CM_i)-(FM_{MRI}-CM_2)$

方法—3：「二次補正」=  $(FA_{MRI}-CM_i)-\{(FM_{MRI}-CM_2)-(FM_{JMA}-CM_3)\}$

$FA_{MRI}$ ：高度 1000 フィートの航空機サンプルを MRI で分析した結果 (C-130H-Flask (1000ft))

$FM_{MRI}$ ：観測所屋上で採取したサンプルを MRI で分析した結果 (MNM-Flask (MRI))

$FM_{JMA}$ ：観測所屋上で採取したサンプルを南鳥島の連続測定システムで分析した結果 (MNM-Flask (JMA))

$CM_i$ ：南鳥島観測所の連続測定システムで観測されている採取時刻と同時刻のデータ

上記の 3 つの方法で評価した結果は図 2-11～2-13 に示してある。全般的に、サンプルと連続測定システムとの測定値の差は毎月一定ではなく、多少の違いが見られた。また、3 つの方法で計算された差の分布は毎月同じ傾向ではないことが認められた。

## 2-2-3 採取空気の評価

図 2-14 は、2010 年 6 月から 12 月までの南鳥島観測所における連続測定システムで得られた  $CO_2$ 、 $CH_4$ 、 $CO$  の時別値の時系列と、自衛隊輸送機による高度 1000 フィートで採取されたサンプルの測定結果の比較を示している。なお、航空機の測定結果は「補正なし」と「一次補正」をした結果の両者をプロットしてある。自衛隊輸送機による高度 1000 フィートの観測結果は、南鳥島の連続測定システムで観測された微量気体の明瞭な季節変動のパターンと良い一致を示した。但し、 $CO$  については、「補正なし」の結果に比べて、「一次補正」した観測値の方が連続測定システムと良く一致しており、この違いには標準ガススケールや分析計を含めた測定に係わる MRI と JMA の差に関連しているものと考えられる。

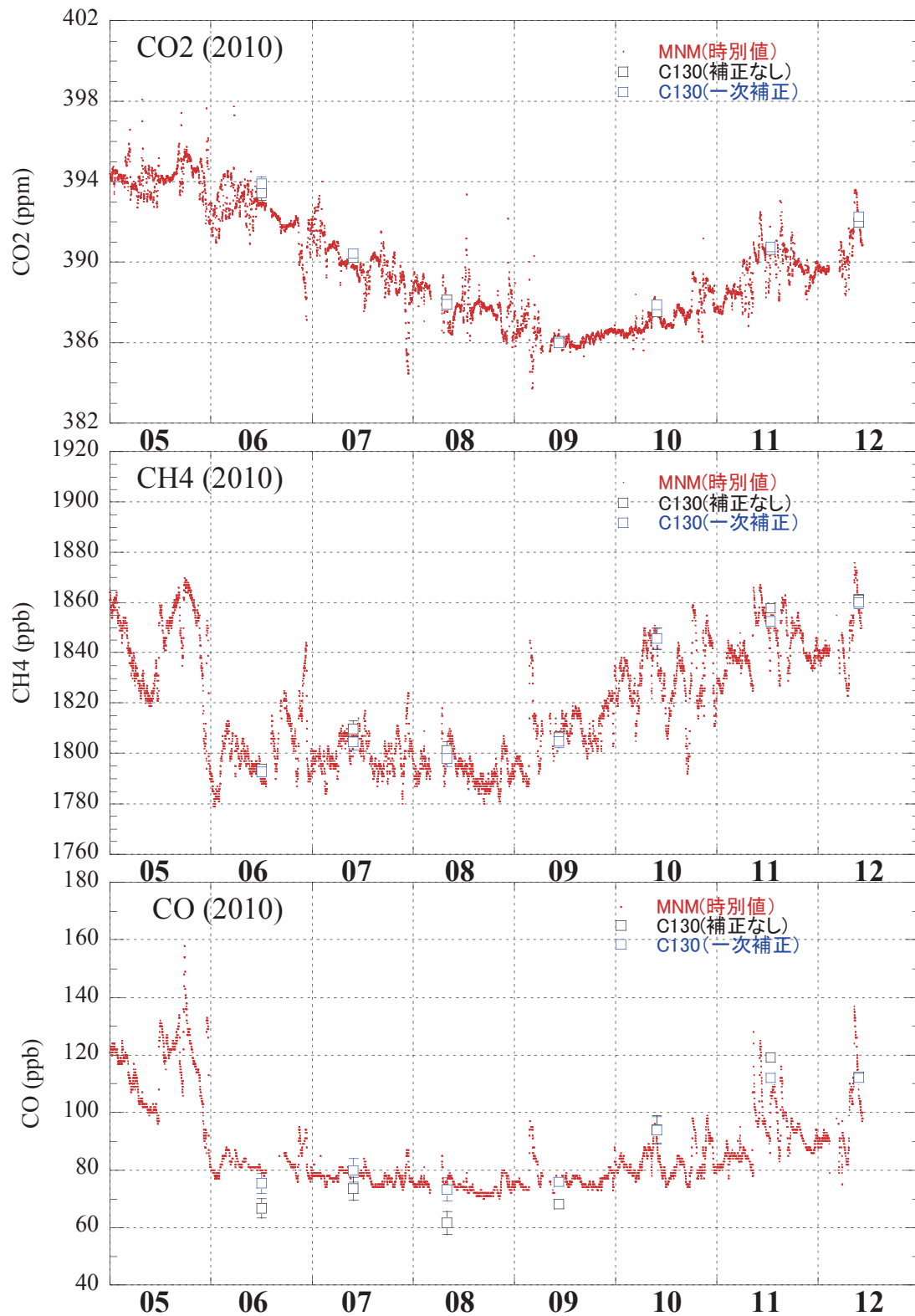


図 2-14 2010 年 6 月から 12 月の期間の南鳥島上空の高度約 300m における C-130H 機による観測と地上連続観測による CO<sub>2</sub> 濃度（上図）、CH<sub>4</sub> 濃度（中図）、及び CO 濃度（下図）の時間変動。上空の観測データの処理方法については本文に記載した。

図 2-15 は、南鳥島上空の高度 1000 フィートで得られたすべての航空機サンプルの CO<sub>2</sub> 濃度と南鳥島気象観測所の連続測定システムで測定された値の差をヒストグラムで示してある。「補正なし」、「一次補正」、「二次補正」のいずれの場合にも、航空機で得られた値の方が約 0.1~0.2ppm 高いことが認められた。但し、分布のパターンは 3 つの場合で違いがあり、補正を施した場合の方が正規分布に近くなる傾向が認められた。CO<sub>2</sub> の場合には、「二次補正」の値が最も差が小さくなる傾向にあり、サンプリング高度に依存する濃度の違い（鉛直濃度勾配）を反映している可能性も考えられる。

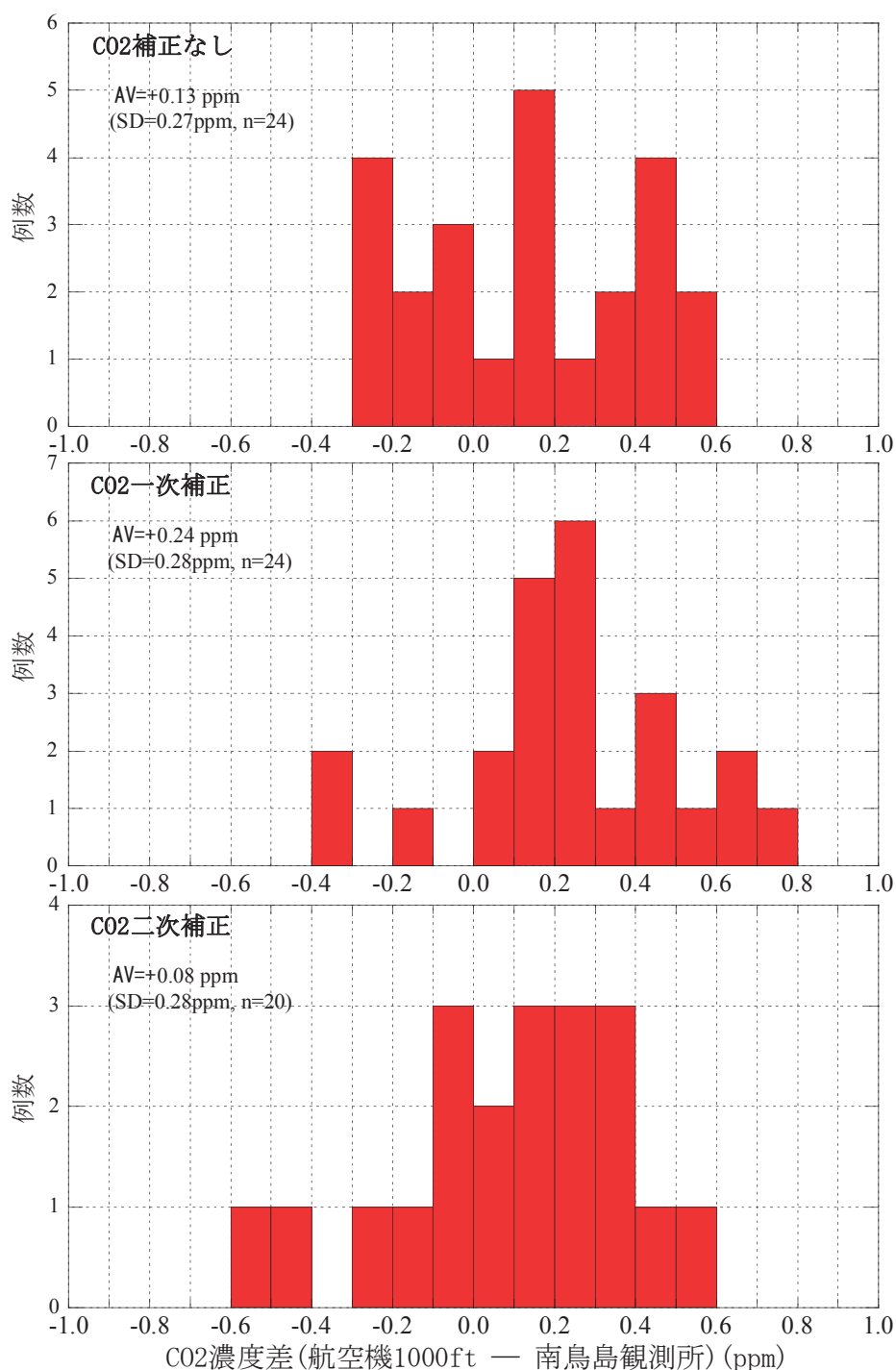


図 2-15 南鳥島上空の高度 1000 フィートと地上で観測された CO<sub>2</sub> 濃度の差の頻度分布。補正の有無とその方法については本文に記載した。

図 2-16 は、CH<sub>4</sub> の比較結果を示してある。CH<sub>4</sub> の場合には、「一次補正」の方が、「補正なし」に比較して、両サンプルの一致が良くなる傾向が見られた。但し、フラスコの分析精度を考慮すると、両者の差はほとんど無いと判断された。

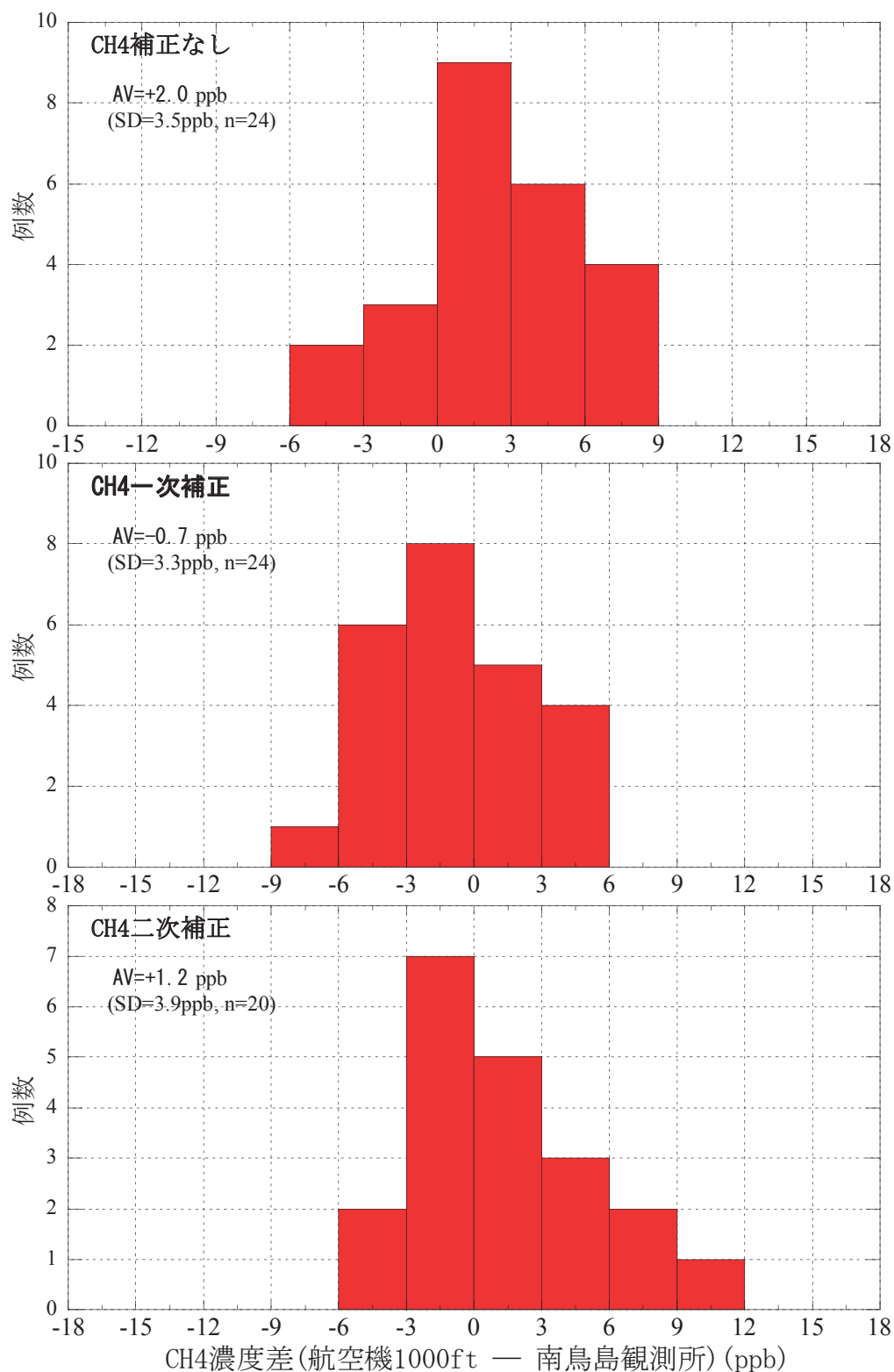


図 2-16 南鳥島上空の高度 1000 フィートと地上で観測された CH<sub>4</sub> 濃度の差の頻度分布。補正の有無とその方法については本文に記載した。

図 2-17 は、CO の比較結果を示してある。CO の場合には、いずれの計算方法でも若干航空機サンプルの方が高い値であったが、分析精度を考慮すると有意な差ではないと考えられる。「補正なし」に比べると、「一次補正」や「二次補正」の方が、データの分散が小さくなる傾向が見られた。

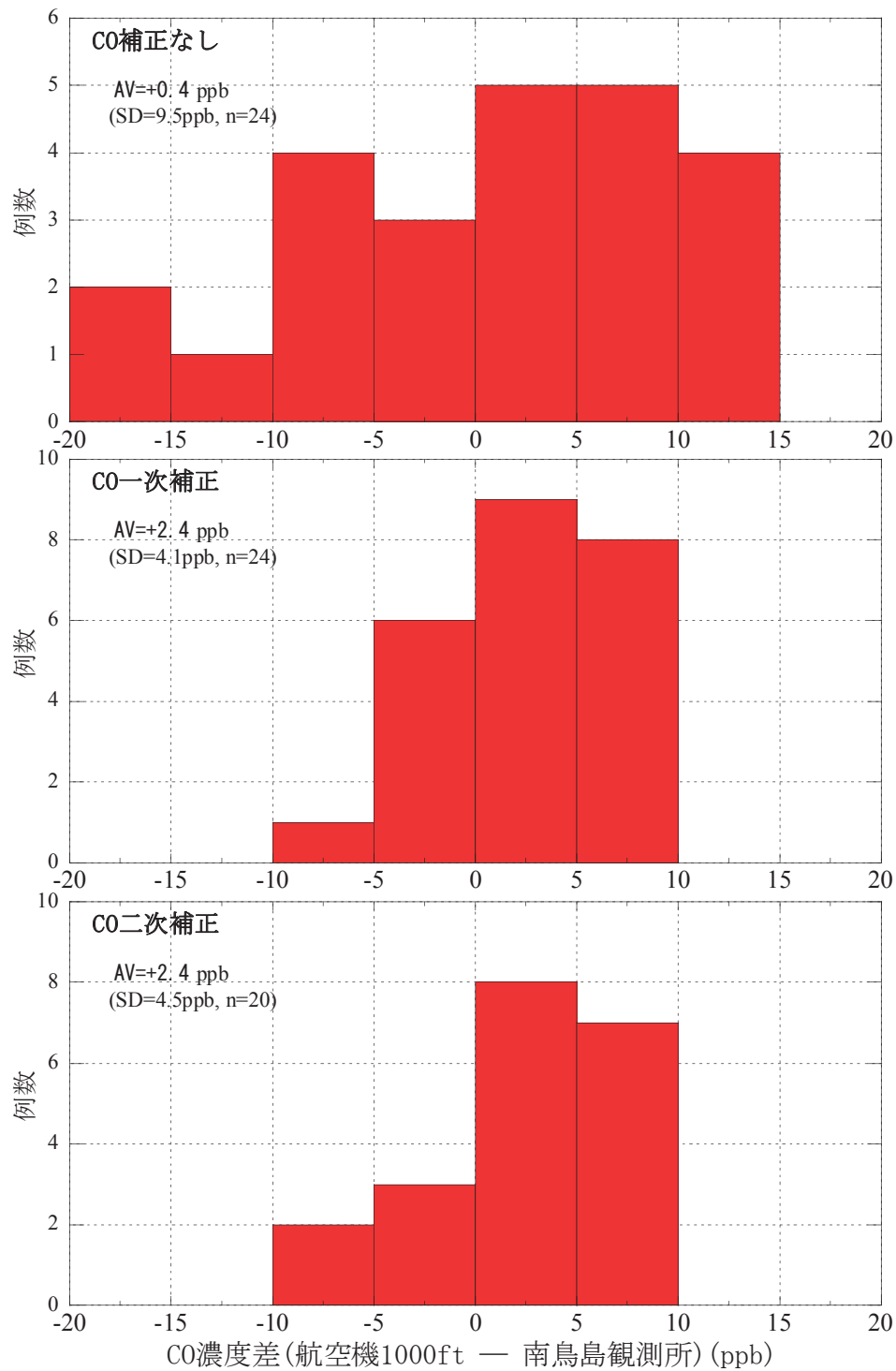


図 2-17 南鳥島上空の高度 1000 フィートと地上で観測された CO 濃度の差の頻度分布。補正の有無とその方法については本文に記載した。

## 2-2-4 比較実験のまとめ

南鳥島上空の高度 1000 フィートの航空機による試験観測で実施した空気採取比較実験の結果を解析し、以下の結果を得た。1) 2010 年 6 月から 12 月の期間に、月 1 回の航空機観測を通して地上の観測値と比較できるデータを取得した。その結果、航空機観測のデータは南鳥島の連続測定システムで見られる明瞭な季節変動のパターンを良く再現していた。2) 航空機と地上の差（航空機-地上）に関して、観測期間中に得たすべてのデータの分布傾向を調べた結果、CO<sub>2</sub> の場合には約+0.1ppm～+0.2ppm（標準偏差～0.3ppm）、CH<sub>4</sub> の場合には約-1ppb～+2ppb（標準偏差～4ppb）、CO の場合には約 0ppb～+2ppb（標準偏差 4～9ppb）であった。これらの結果は分析誤差やサンプリング高度の違いなどを考慮すると良く一致していると判断された。3) 今回の解析を通して、自衛隊輸送機による大気採取の方法に大きな問題点がないことが明らかになった。今後も、同様な比較検証実験を適時実施することによって、大気採取方法に問題がないか常に確認しておくことが必要であろう。

## 2-3 大気試料採取システムの確立

### 2-3-1 航空機用の採取装置

2-2 章の空気採取比較実験の結果から、試験観測で用いた採取方法が自衛隊輸送機による航空機観測を行う上で問題がないことが明らかになった。そこで、実験で用いた方法に基づいて、狭い機内でより効率的に大気試料採取が行えるように、手動のフラスコサンプリング装置を製作した。図 2-18 に、自衛隊輸送機に適合したサンプリングシステムの概要を示す。また、図 2-19 に、実際に機内に設置したシステムの写真を示す。

機内で用いる採取装置は、手動ダイヤフラムポンプ、除湿管、フラスコ、流量計、圧力計から構成される。フラスコは運搬と機内での固定を容易にするために、アルミ製の筐体に 6 個単位で収納することとした。機内では、6 個単位の筐体 4 台を積み重ねて固定し、計 24 本のフラスコに採取することが出来る。除湿管(径 3/4 インチ、長さ 35cm) には乾燥剤である過塩素酸マグネシウムを充填し、CO<sub>2</sub> 標準ガスでパージしてから使用した。フラスコ両端の配管接続の切り替えを迅速に行うために、クイックコネクター (Swagelok QC series) を採用した。その際、筐体横の一面だけにフラスコの両端の接続口が配置され、機内での接続交換が容易になるように配管した。機内では電源を使用することが困難なことから、KNF 社製のダイヤフラムポンプを電動から手動の手回し式に改造したものを採取ポンプとして利用した。フラスコの空気置換と加圧のために、フラスコの下流側に浮き子式流量計とブルドン管型の圧力計を設けた。あらかじめ排気したフラスコ内の空気の置換は、約 8 リットル/分の流量で約 1 分程度行い、次に約 1 分程度をかけて相対圧で +0.3MPa まで試料空気を加圧採取する。

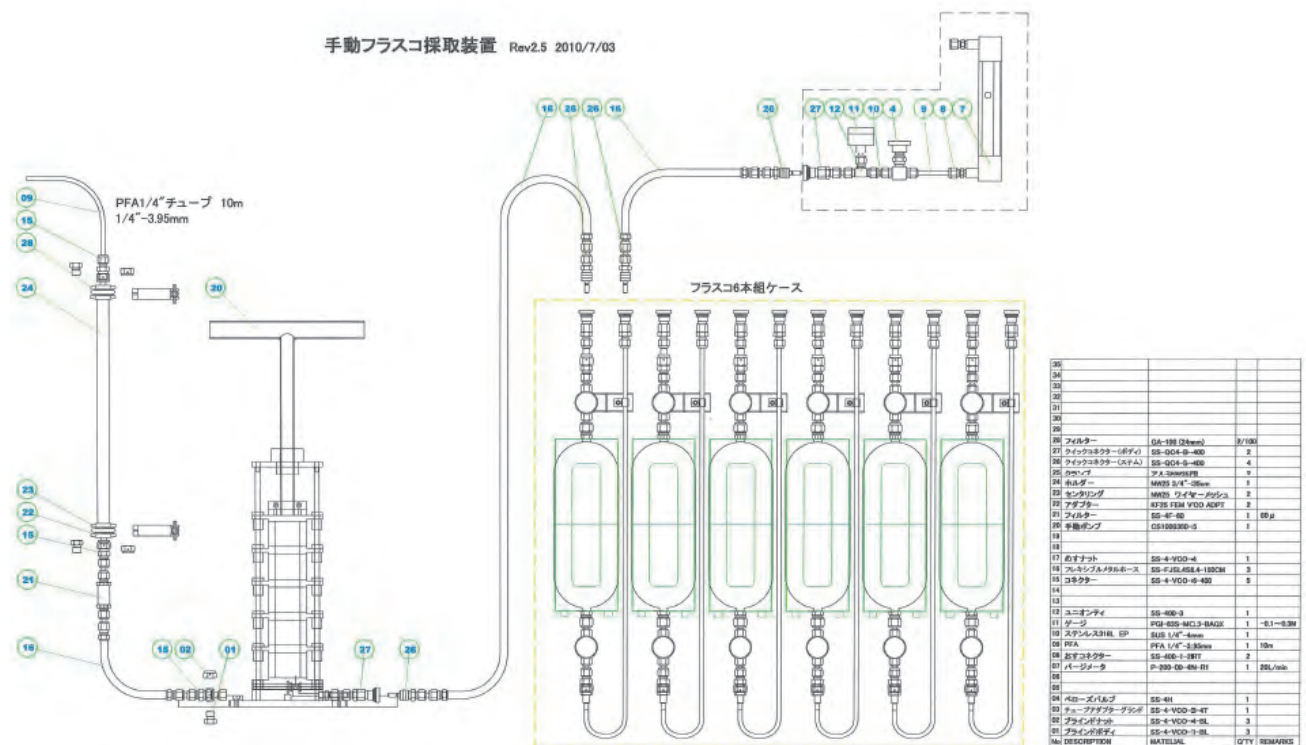


図 2-18 手動フラスコ採取装置概要図。

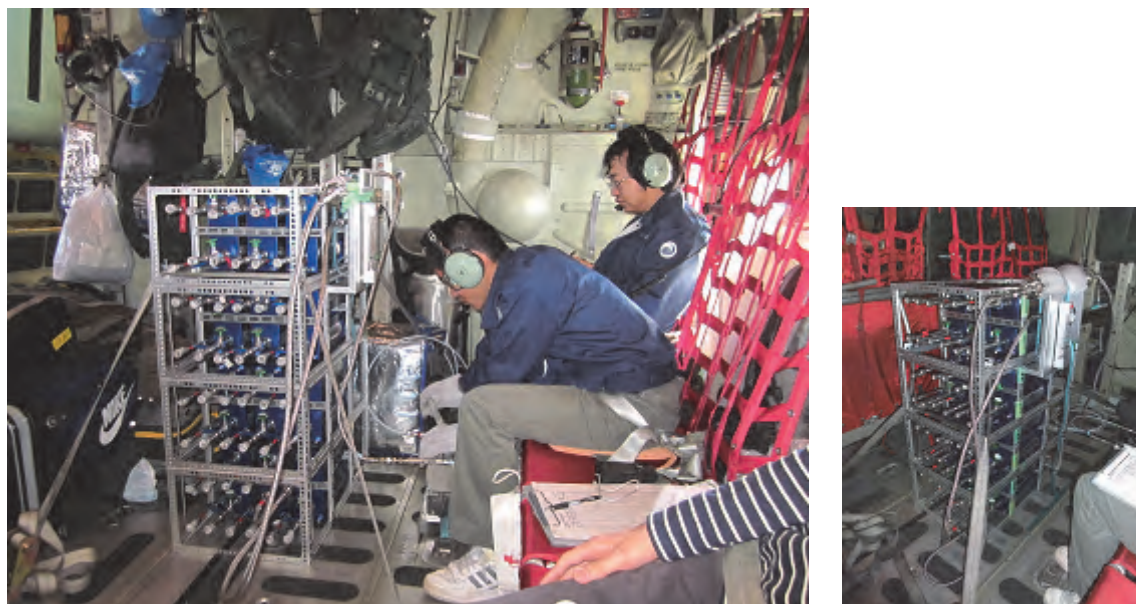


図 2-19 採取装置を設置した機内の様子。

### 2-3-2 地上大気用の空気採取装置

南鳥島上空の鉛直分布データを取得するために航空機が降下中にフラスコサンプリングを行うが、これにあわせて地上でもフラスコサンプリングを実施するため、自動の大気採取装置を製作した。図 2-20 に、自動大気採取装置の概要を示す。また、図 2-21 に、実際に南鳥島で採取している装置の写真を示す。本装置は、除湿管、フィルター、ポンプ圧力計、電磁弁等で構成され、機上と同様にアルミ製の筐体に 6 個単位でフラスコが収納されている。なお、制御はすべて自動で行われる。本装置は、定期航空機観測プロジェクト (CONTRAIL) で開発された自動大気採取装置 (ASE : Automatic air Sampling Equipment) を基本として製作された。その流路や作動については、Machida *et al.* (2008) に詳しく報告されている。本装置の動作と性能については、事前に南鳥島気象観測所で試験採取を実施し、観測所の連続観測システムで測定される濃度と比較する実験を行った。その結果、両者の値はほぼ測定精度の範囲内で一致することが分かった。これによって、自動空気採取装置を用いたフラスコサンプリングに大きな問題がないことが確認された。

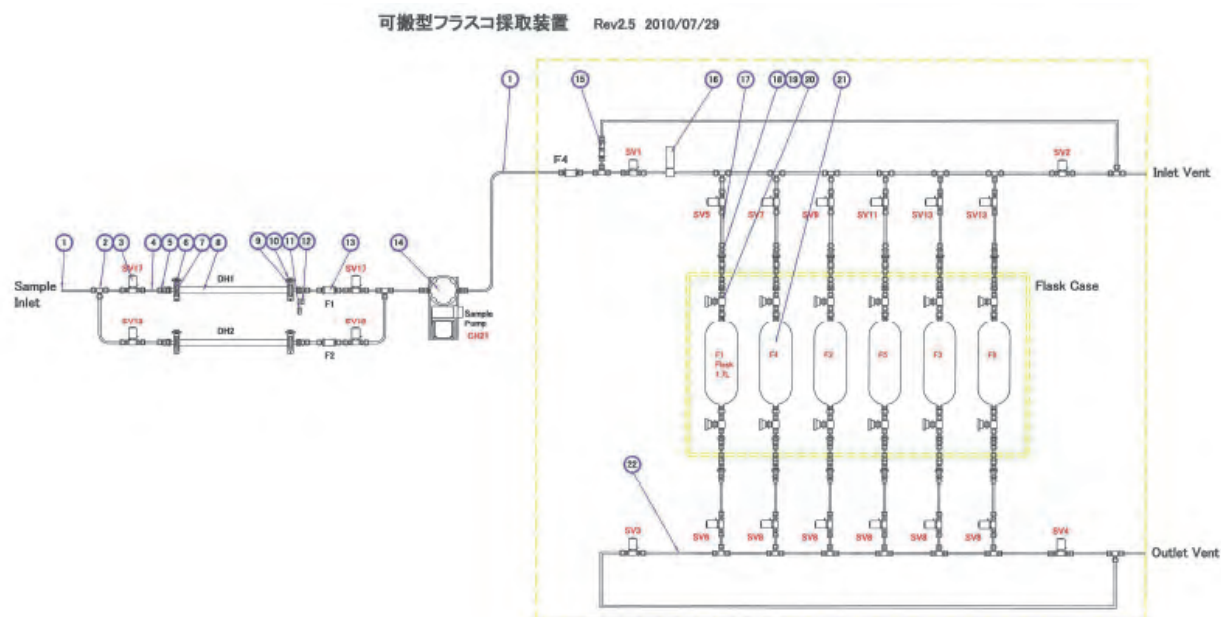


図 2-20 地上観測で用いる自動大気採取装置の概要図。



図 2-21 自動大気採取装置を設置した南鳥島気象観測所屋上での採取の様子。