

1.1.5 クローズドパス法

1.1.2節で述べたようなオープンパス分析計は耐侯性，メンテナンスの上で長期観測には不向きである。近年注目されているのは，クローズドパス赤外線分析計を渦相関法に用いる測定である。メンテナンスや精度さらには絶対値も測定可能という長所を持ち合わせているが，オープンパス分析計に比べて応答性が劣る。これは，チューブによって空気を分析計に導くことによる変動の減衰と測器自体の応答性の悪さによるものである。このためにクローズドパス法によって測定されたCO₂や水蒸気フラックスの値は過小評価されている。この変動の減衰の補正については，Leuning and Moncrieff(1990)，Leuning and King(1992)，Suyker and Verma(1993)やLee et al.(1994)によって述べられている。これらは，チューブ内の変動の減衰を伝達関数を用いて評価し，補正するものである。チューブ内の流れを乱流状態にすることで減衰を小さくする結果も得られている。これらの研究に用いられた分析計は0.5～1 Hzの応答特性を持っているため，森林などに適用する場合は，その補正はあまり深刻ではない。しかし，赤外線分析計の中には応答特性が0.1Hz程度のものもあり，チューブによる減衰と測器自体の応答両方を補正する必要があることがある。これをバンドパスコバリアンス法を用いて補正する方法の実例を2.1節に示した。

チューブを用いて空気を導くことは，変動の減衰だけでなく，空気取り入れ口から分析計までに空気が達するまでの時間遅れが生じることになる。相関を計算する場合この遅れ時間を考慮に入れなければならない。この遅れ時間は吸入するポンプの流量に依存するが，その決定方法として考えられるのは，オープンパスの測器を併用して求める方法と， w との相関が最大になる時間を用いる方法がある。後者の方は簡便ではあるが理論的根拠が薄い。

クローズドパス法の長所の一つは，1.1.4節で述べた密度変動補正が軽減されることである。(1.13)式から判るように，密度変動補正は， $\overline{w'T'}$ を含む項と， $\overline{w'q'}$ を含む項とがある。このうち特に湿潤な場所を除いて $\overline{w'T'}$ を含む項は一般に大きい。しかし，クローズドパス法においては温度変動をキャンセルする作用が働くため，この項が無視できる状態になる。したがって，密度補正は小さい補正項である水蒸気変動の項だけであり，精度向上や，面倒な補正過程を簡素化できる利点を持つことになる。

1.2 REA(簡易渦集積)法

1.2.1 原理

渦相関法でフラックスが測定できる微量気体は限られている。オープンパスでフ

ラックスが測定できるのはCO₂ぐらいである。したがって、微量気体濃度については応答の悪い測器で測定するだけで渦相関法に近いやり方でフラックスを評価しようとする方法が検討されていて、その一つが渦集積(Eddy Accumulation)法である(Hicks and McMillen, 1984)。

この方法では、鉛直成分の測定には超音波風速計など高速の測器が必要であるが、微量気体については濃度の平均値が得られればよい。すなわち、鉛直風速 w に比例した流量を w の符号に応じて2つのバッグなどに取り込み、それぞれの濃度の差を測定するというのが原理であり、次式に示すように渦相関と同じ値となる。

$$\overline{w^+s} + \overline{w^-s} = \overline{w^+s'} + \overline{w^-s'} + \overline{(w^+ + w^-)s} = \overline{w's'} + \overline{ws} \quad (1.21)$$

この方法は原理的には直接乱流フラックスを評価しているには違いないが、鉛直風速に比例した流量を取り込む技術的困難さに加えて、大きい値同士の僅かな差を求めるということになるため現状では実用的な方法とは言えない。

これを簡素化した提案、コンディショナル・サンプリング法がBusinger and Oncley (1990)によってなされた。この方法はREA(Relaxed Eddy Accumulation)法とも呼ばれ、現在かなりの野外実験が実用化に向けてなされている(Baker et al., 1992 ; Pattey et al., 1993, 石田朋靖ほか, 1995, Hamotani et al., 1996)。原理は、フラックスは次のように表わされるというものである。

$$F_c = b \cdot w \cdot (C^+ - C^-) \quad (1.22)$$

ここで、 w は風速鉛直成分の標準偏差、また C^+ , C^- は気流が上を向いているときと下を向いているときのそれぞれの気体密度の平均である。この方法の問題点は、重要な係数(b)を実験的につ決定しなければならないことであり、そのためにはまだ研究の積み重ねが必要である。サンプリング装置は小型にでき、しかも傾度法とは異なり1高度で測定が可能なので、簡単なポールの上や気球などにも取り付けるともできる(Hamotani et al., 1997, Monji et al., 1996)。

1.2.2 渦集積法のセンサーとサンプラー

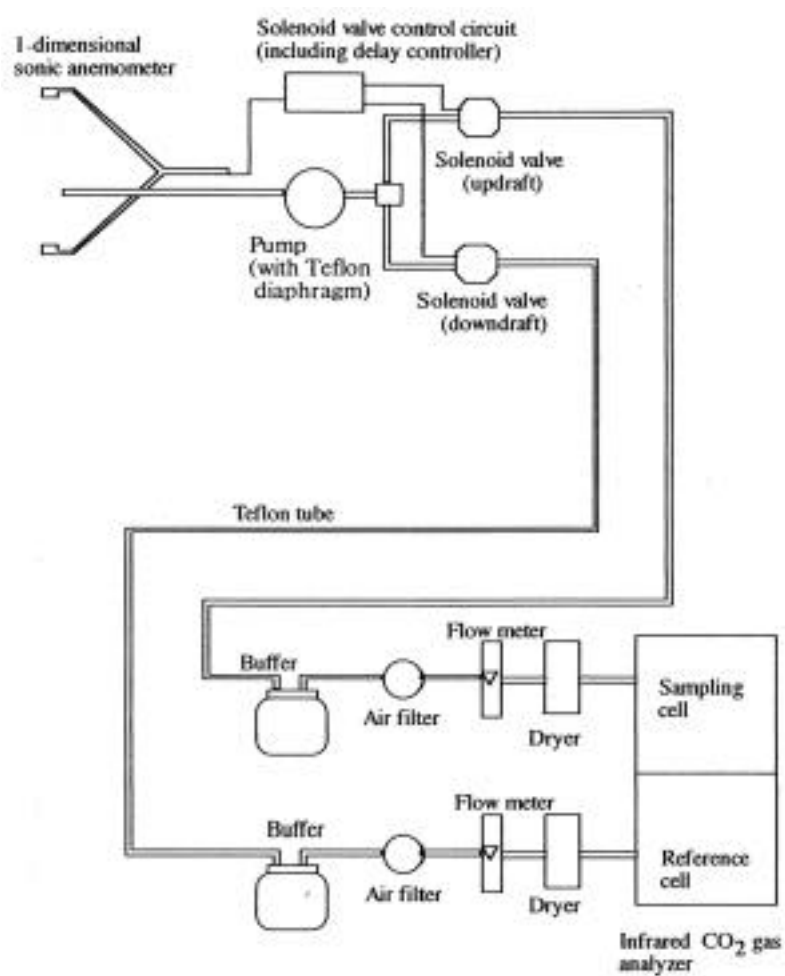
REA法の測定装置の主要部はサンプリング部、ガス分析部、超音波風速計から構成される。サンプリング部以外の部分は市販されているが、サンプリング部は特別に作製する必要がある。REA法では応答性の良いサンプリングポンプが必要となる

が応答の悪いポンプを使用するときは、電磁弁で切り替えることによりサンプリングを行う方法(サンプリング装置 1, 図1.12に概略図を示す)がとられる。この場合は、遅れ時間のサンプリングポンプの流量が変わると遅れ時間が変わってしまうので遅れ時間を再調整する必要がある。そこで、応答性の良いポンプが使用できる場合には、最初から 2 系統に流路を設ける方法(サンプリング装置 2)が長期間の観測のためには適している。

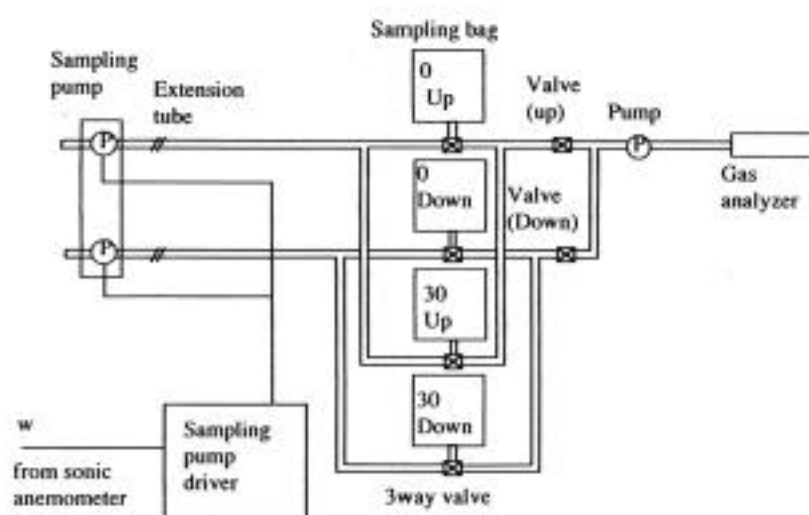
サンプリング装置 1 では、観測点から入った空気はポンプ(ダイヤフラムがテフロン)によって取り込まれた空気は 2 つの電磁弁に送られる。そこで w の信号の符号(正/負)によって切り替えられてそれぞれの空気だめに送られる。空気だめの空気はガス分析器に送られ 2 つの空気のガスの濃度差が測定される。しかし、サンプルした空気がポンプを通過して電磁弁に到達するまでにいくぶん時間がかかるので、電磁弁に加える信号もその遅れ時間だけ遅らせる必要がある。電磁弁制御回路では多段のシフトレジスターを用いて必要な時間を遅らせている。

サンプリング装置 2 では電磁ポンプと特別に作成した駆動回路を使用して、サンプリングポンプを構成している。サンプリングポンプには AC100V の市販の電磁ポンプが使用されている。このポンプを振幅 12 ~ 15V, 5 ~ 10Hz の矩形波で動かすと駆動周波数が規格のものより低いので発熱が大きく、ポンプの電磁石には放熱が必要である。

この電磁ポンプを用いてサンプリングバッグに取り込み、その空気をガス分析器に連続的に送り込む。サンプリングはあるサンプリング期間ごとに 2 組のサンプリングバッグがサンプリング空気の収集と分析/排気を繰り返して測定が行われる。例えばサンプリング期間が 30 分で、上の 2 つのサンプリングバッグがサンプリングを開始した時点から説明すると、初めの 30 分間 "0 UP" と "0 DOWN" のサンプリングバッグにサンプリングポンプからの空気が集められる。このとき、すでに集められた "30 UP" と "30 DOWN" のバッグの空気は二方電磁弁によって 2 つのバッグの空気が切り替えられ、ポンプによりガス分析器に送られる。ガス分析器によりそれぞれ "30 UP" と "30 DOWN" のガス濃度が測定される。ガス分析器の前のポンプの流量がサンプリングポンプの流量よりも多く設定したとすると "30 UP" と "30 DOWN" のサンプリングバッグの空気は 30 分の間にすべて排気される。次の 30 分には上の 2 組と下の 2 組のバッグが三方電磁弁により切り替わり同様の手順で測定が行われる。



サンプルング装置1の概略図



サンプルング装置2の概略図

図1.12 REA(簡易渦集積)法のサンプルング装置(鱧谷, 1997)