

乱流変動法によるCO₂フラックス の計算方法の概要

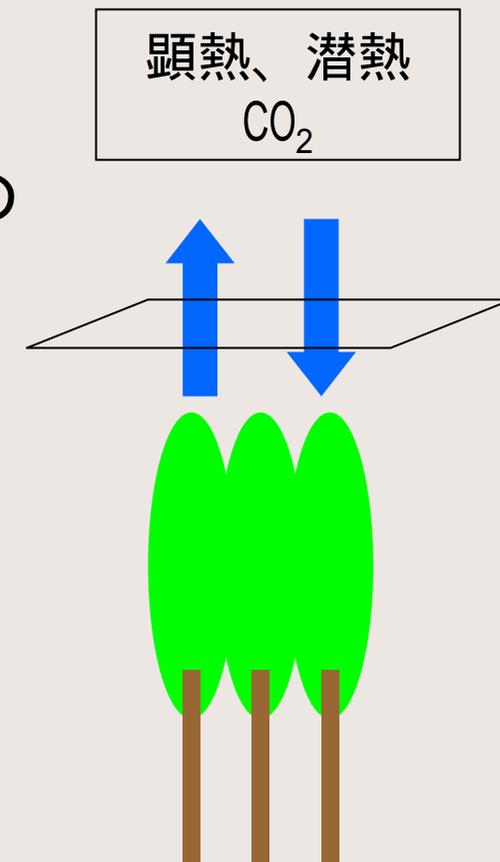


乱流変動法とは - (基礎式)

渦相関法、あるいは乱流変動法は、乱流フラックスを求める方法として、用いる仮定が少なくもっとも直接的な方法であると考えられている。CO₂などの微量気体の鉛直フラックスは次式のように表される。

$$Fc = \overline{wc} = \overline{w'c'} + \overline{w}\overline{c}$$

cはCO₂濃度、wは風速の鉛直成分でバーは時間平均、プライム(')は平均からの偏差を表している。平坦で一様な地表面でwの平均wが0と仮定できる場合、フラックスはwとcの共分散で表される。

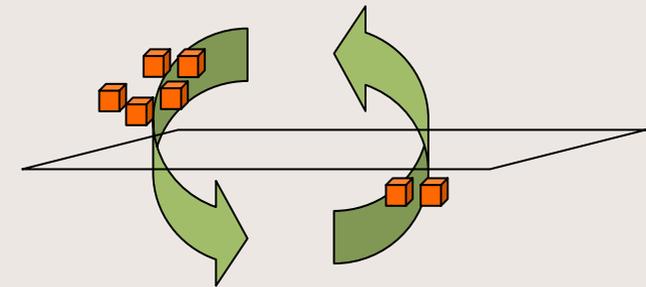


この式のイメージはー

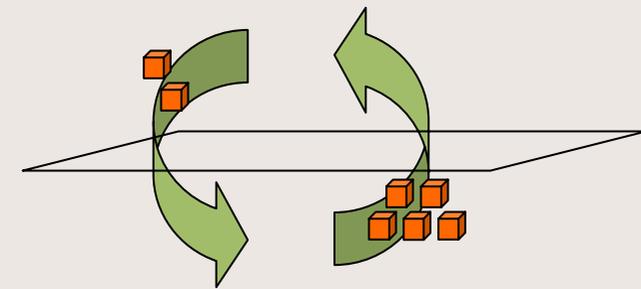
■ 風によって運ばれるCO₂分子

↻ 鉛直風速の向き

鉛直風速が下向きするときCO₂濃度が高く、
鉛直風速が上向きするときCO₂濃度が低ければ、
CO₂は下向きに輸送される（CO₂吸収）



鉛直風速が下向きするときCO₂濃度が低く、
鉛直風速が上向きするときCO₂濃度が高ければ、
CO₂は上向きに輸送される（CO₂放出）



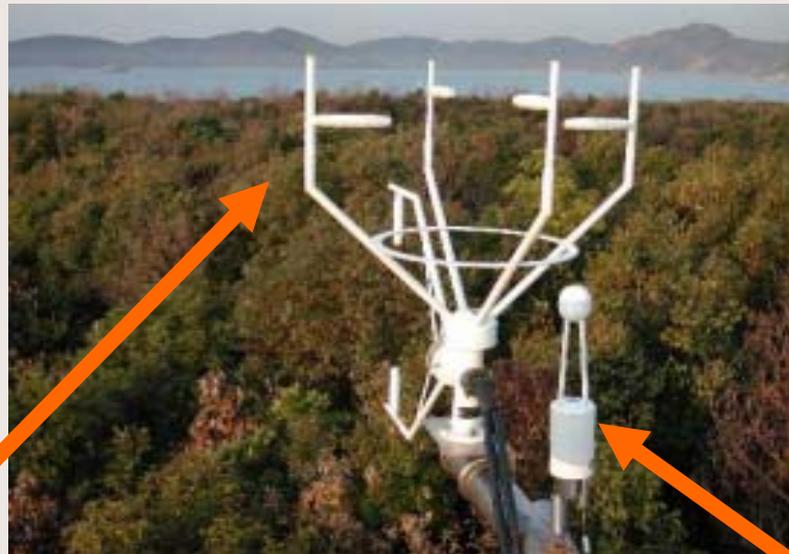
ではどのようにすれば

$$\overline{w'c'}$$

がわかるか？

$\overline{w'c'}$ を知る方法

- (1) まず樹冠上のある高度で、応答のよい測器を使い0.1~0.2秒間隔程度でx,y,z方向の風速、温度、CO₂濃度、H₂O濃度を連続測定する。



x,y,z方向の風速と温度の変動
を測定する超音波風速温度計

CO₂,H₂O濃度の変動を測定する
オープンパス式ガスアナライザー

(2) データの分割

フラックスを計算するためには、まず延々と続く生データをある長さで分割する必要がある。この時間のことを「平均化時間」という。

平均化時間は、短すぎると乱流フラックスに寄与する波の全てを捕らえることができず、長すぎると日変化のような大きな変動までひらってしまうので、30分程度がよいとされる。

(3) 30分データをみてる

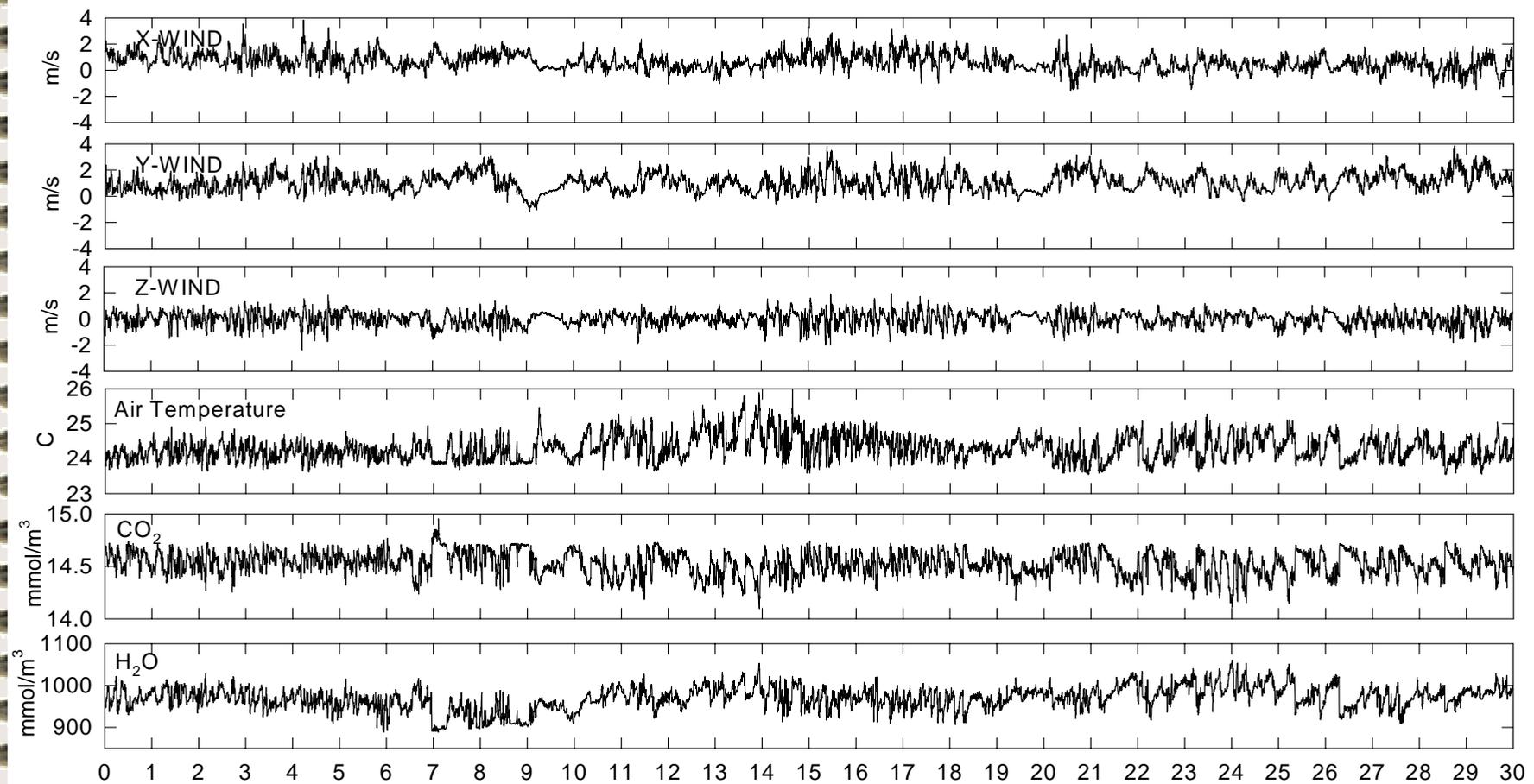
• 30分間のデータをみてるとー

ID	DOY	HH:MM	Seconds	X-wind(m/s)	Y-wind(m/s)	Z-wind(m/s)	Air Temp	(none)	(none)	CO2(mmol/m3)	H2O(mmol/m3)	(none)
101	179	2330	0.125	1.4528	0.3518	-0.22151	22.672	-12.183	15.763	15.347	1084.6	93.661
101	179	2330	0.25	1.4072	0.23454	-0.16939	22.574	-12.183	15.763	15.397	1090.3	93.661
101	179	2330	0.375	1.5831	0.49513	0.19545	22.574	-12.183	15.763	15.402	1091.4	93.661
101	179	2330	0.5	1.4398	0.50816	0.27362	22.607	-12.183	15.763	15.41	1092.9	93.661
101	179	2330	0.625	1.518	0.59285	0.44953	22.509	-12.183	15.763	15.41	1093.5	93.661
101	179	2330	0.75	1.6092	0.54073	0.42021	22.835	-12.183	15.763	15.407	1093.5	93.661
101	179	2330	0.875	1.5571	0.42998	0.04886	22.835	-12.183	15.763	15.407	1094.5	93.661
101	179	2330	1	1.4984	0.48862	0.11727	22.835	-12.183	15.763	15.405	1092.9	93.661
101	179	2330	1.125	1.5049	0.69709	0.21825	22.9	-12.183	15.763	15.379	1088.8	93.661
101	179	2330	1.25	1.4007	0.54073	0.2606	22.835	-12.183	15.763	15.353	1085.1	93.661
101	179	2330	1.375	1.5375	0.68406	-0.10424	22.867	-12.183	15.763	15.35	1084.1	93.661
101	179	2330	1.5	1.6483	0.68406	-0.17916	22.835	-12.183	15.763	15.353	1084.1	93.661
101	179	2330	1.625	1.6613	0.45604	-0.18242	22.769	-12.183	15.763	15.381	1085.1	93.661
101	179	2330	1.75	1.5766	0.50816	-0.03257	22.769	-12.183	15.763	15.402	1086.2	93.661
101	179	2330	1.875	1.6417	0.52771	-0.24431	22.769	-12.183	15.763	15.428	1088.2	93.661
101	179	2330	2	1.759	0.57982	-0.26385	22.704	-12.183	15.763	15.454	1090.3	93.661
101	179	2330	2.125	1.6287	0.50165	-0.28665	22.672	-12.183	15.763	15.478	1091.4	93.661
101	179	2330	2.25	1.6548	0.63194	-0.53748	22.704	-12.183	15.763	15.509	1092.9	93.661
101	179	2330	2.375	1.5961	0.58634	-0.59937	22.704	-12.183	15.763	15.499	1093.5	93.661
101	179	2330	2.5	1.5896	0.65149	-0.53748	22.672	-12.183	15.763	15.504	1092.9	93.661
101	179	2330	2.625	1.5571	0.66452	-0.4365	22.737	-12.183	15.763	15.527	1093.5	93.661
101	179	2330	2.75	1.7069	0.61891	-0.37786	22.737	-12.183	15.763	15.514	1091.9	93.661

(0.125秒間隔で測定しているので30分で14400行のデータになる)

101	179	2359	58.25	1.948	0.18242	0.24431	22.998	-12.196	15.757	15.267	1069.5	93.658
101	179	2359	58.375	1.9349	0.03257	0.25082	23.03	-12.196	15.757	15.272	1070.5	93.658
101	179	2359	58.5	1.6874	-0.09772	0.5668	22.998	-12.183	15.763	15.274	1070.5	93.658
101	179	2359	58.625	1.5245	-0.03257	0.77528	22.965	-12.196	15.757	15.264	1070	93.658
101	179	2359	58.75	1.4463	-0.0456	0.78505	22.965	-12.196	15.763	15.269	1070.5	93.658
101	179	2359	58.875	1.2965	0.14333	0.75573	22.965	-12.196	15.757	15.259	1069	93.658
101	179	2359	59	1.4137	0.11075	0.544	22.965	-12.183	15.763	15.256	1068.4	93.658
101	179	2359	59.125	1.4463	-0.23454	0.57006	22.933	-12.196	15.757	15.261	1069.5	93.658
101	179	2359	59.25	1.3225	-0.07166	0.4593	22.933	-12.196	15.757	15.264	1068.4	93.658
101	179	2359	59.375	1.8111	-0.46907	0.66452	22.933	-12.196	15.763	15.264	1069	93.658
101	179	2359	59.5	1.7525	-0.25408	0.61566	22.933	-12.196	15.763	15.264	1067.9	93.658
101	179	2359	59.625	1.7786	-0.10424	0.55051	22.998	-12.183	15.763	15.259	1069.5	93.658
101	179	2359	59.75	1.733	-0.33226	0.54725	22.933	-12.196	15.763	15.259	1069	93.658
101	179	2359	59.875	1.6027	-0.4365	0.43976	22.933	-12.183	15.757	15.259	1069	93.658
101	180	0	0	1.5701	-0.38438	0.48862	22.9	-12.196	15.763	15.259	1070	93.658

(4) グラフでみるとー

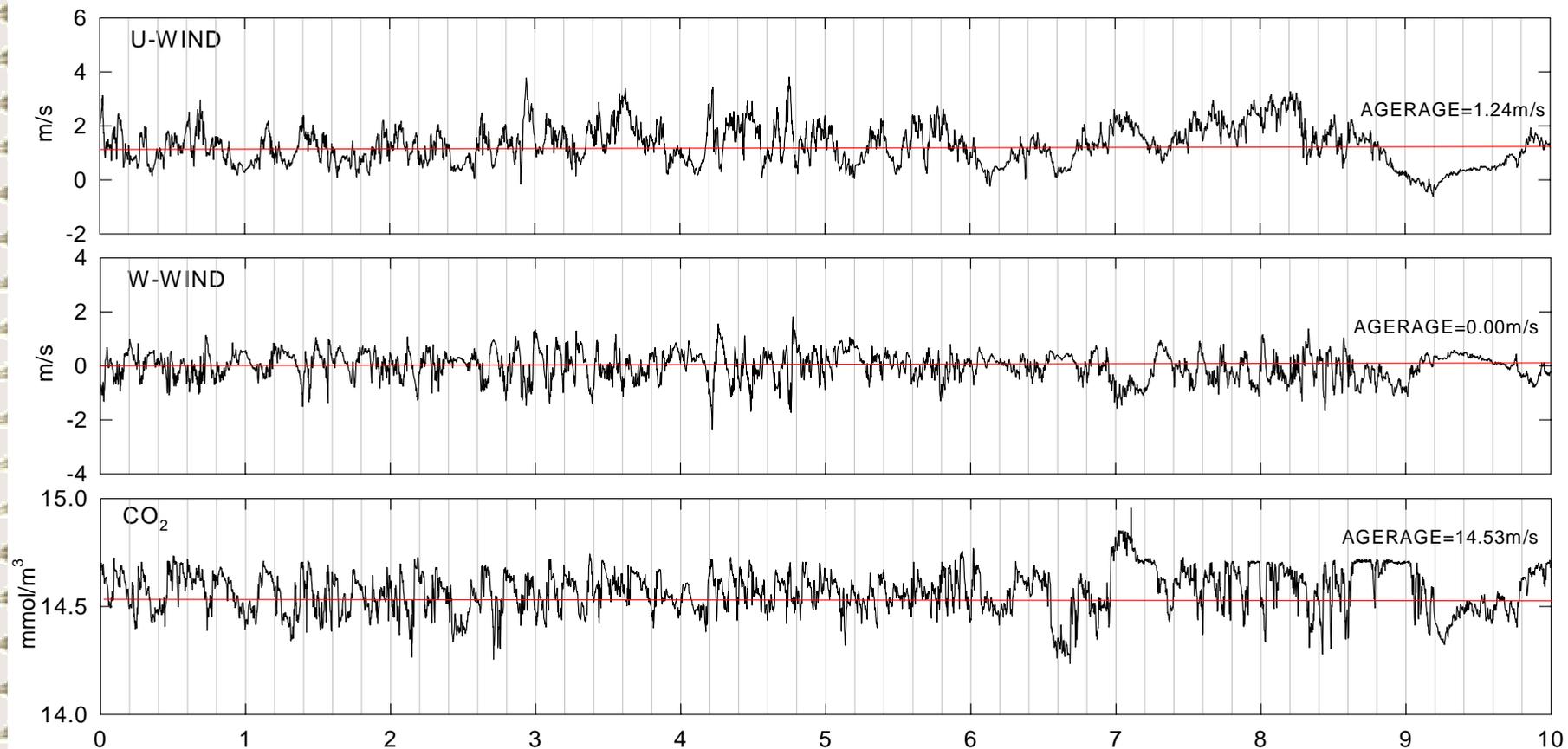


2003/6/29 9:00-9:30のデータ

(5) 座標回転

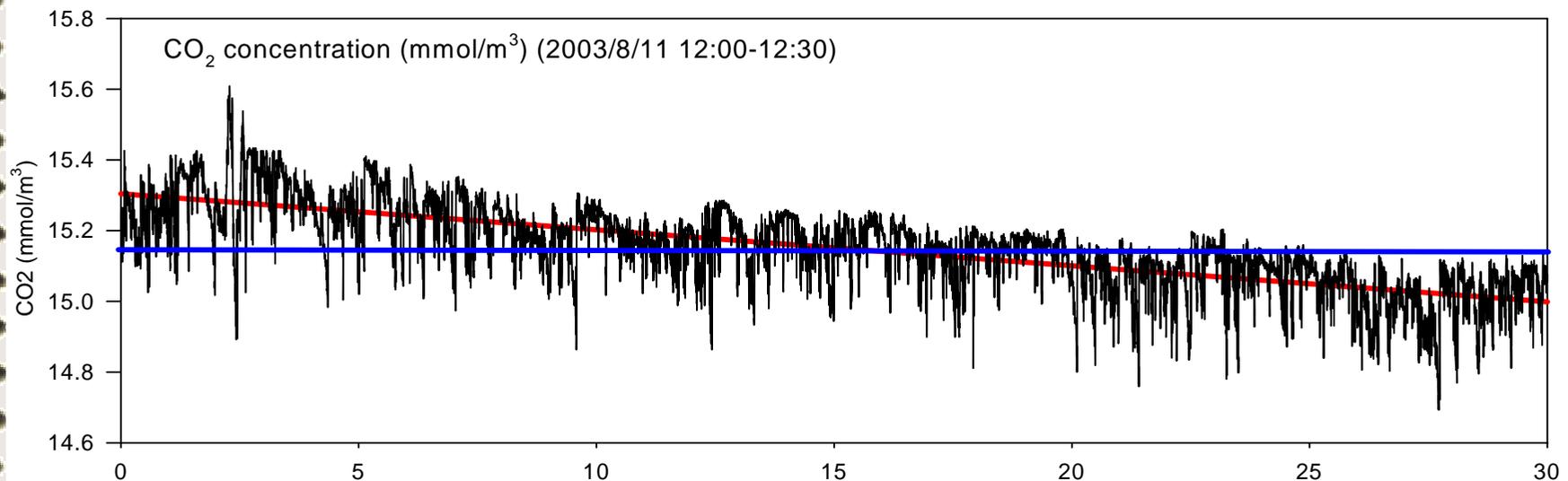
- $w'c'$ の平均からフラックスを算出するためには、水平一様な地形上で w の平均が 0 でなければならない。しかし、実際には測器の取り付けの際の誤差（測器の傾き）や地形の影響などから測定された z 風速の平均は 0 にならない。
- これを補正するために、鉛直風速の平均が 0 になるよう座標を回転し、計算には z 風速の値ではなく、座標回転後の w 風速を用いる。

(6) 座標回転してみたたら -



座標回転後の水平風速(u)、鉛直風速(w)、CO₂濃度
(2003/6/29 9:00-9:10の10分間。鉛直風速とCO₂の変動を
較べると反対の形になっていて、CO₂を吸収している。)

(7) トレンド除去



平均値が30分間にどんどん変化していく場合もある。
このような時のため、青いラインではなく赤いラインを
平均値として用いる。
(= 直線回帰によるトレンド除去)

(8) タイムラグを見積もる

風速とCO₂やH₂O濃度は別々の測器で測定している。
このため測定時間に若干のずれが生じる。

今回赤穂樹林帯にて使用しているオープンパス式ガスアナライザー (LI7500) の場合、このずれ時間は約0.25秒。

0.125秒間隔で測定しているデータをCO₂とH₂Oについては2個ずらして、計算する。

(クローズドパス式の場合はチューブでの吸引に伴うずれ時間を見積もらなければならない)

(9) 偏差、共分散、共分散の 平均 (= $w'c'$) を計算する

- 偏差 (w' や c' など) : 各成分の瞬間値から平均値を引いて求める
- 共分散 ($w'c'$ など) : 2成分の偏差を掛け合わせる
- 共分散の平均 ($\overline{w'c'}$ など) : 共分散の平均値を求める (30分なら14400データの平均)

例えば - 2003/6/29 9:00-9:30の $\overline{w'c'}$ は-0.028
(単位は $\text{mmol/m}^2.\text{s}$)

(1 0) 密度変動補正と 単位変換

得られた共分散の30分平均値を、単位変換する（例えばCO₂濃度がオープンパス式ガスアナライザーでmmol/m³の単位で測定したのなら、鉛直風速w(m/s)との共分散の単位mmol/m².sから単位面積あたりのCO₂移動量の見やすい単位mg/m².sへ変換する）

また、オープンパス式データから正しいフラックスの値を得るためには、ここで密度変動補正（WPL補正）を行う。（これはちょっと難しい・・・）

(1 1) CO₂吸収量の日変動、 季節変動を計算

- 以上の作業を30分毎のデータについて繰り返すことによって、CO₂吸収量の日変動、季節変動が計算できる。

