

海洋中における二酸化炭素の鉛直輸送評価に関する検討

岡山大学大学院自然科学研究科 ○具志堅拓実(学)、柳田早映  
岡山大学環境理工学部 岩田徹(正)、大滝英治(正)

1. 緒言

地球温暖化の主なガスである  $CO_2$  が大気中で着実に増加している。しかし、地球表面の 7 割を占める海洋が  $CO_2$  交換に果たす役割は明らかではない。我々のグループでは大気-海洋間の  $CO_2$  交換に関する知見を得るために 1996 年以降継続的に実験栈橋を用いて気象・海象総合観測を実施してきた。その中でも 2000、2001 年の観測では近年測定精度が大幅に向上した赤外線  $CO_2$  変動計を用いてフラックスの評価に有意義な結果を得ることができた。ここではその結果を報告するとともに、今後考慮すべき海洋中の  $CO_2$  フラックス評価に関して検討を試みる。

2. 解析と結果

解析は①渦相関法、②空気力学的傾度法、③バルク法の 3 つの方法で行った。

$$F = \overline{w'c'} + \overline{w'q'} \left[ \frac{\mu c}{a} \right] + \bar{c}(1 + \mu\sigma) \left( \frac{\overline{w'T'}}{T} \right) \quad \dots \textcircled{1}$$

$$F = \frac{ku_* z}{\phi_c} \frac{dC}{dz} = \frac{ku_* \Delta C}{\int_{\zeta_1}^{\zeta_2} \frac{\phi_c(\zeta)}{\zeta} d\zeta} \quad \dots \textcircled{2}$$

$$F = D_c \cdot U_{10} \cdot (C_w - C_a) \quad \dots \textcircled{3}$$

図 1 に渦相関法と空力法による結果を示す。両者とも良い一致を見せており特に海風時 (9:00-18:00) に著しい。このことは 2 つの方法が海洋上において微気象的手法が有効であることに他ならない。

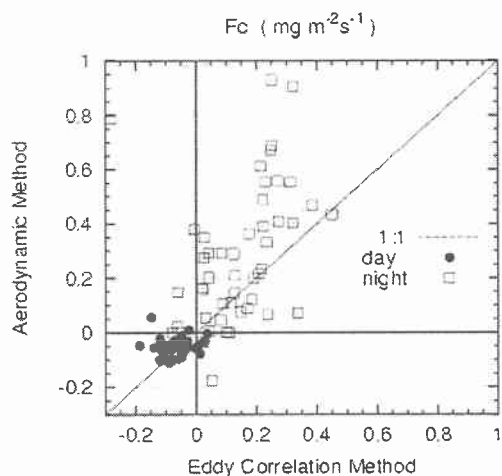


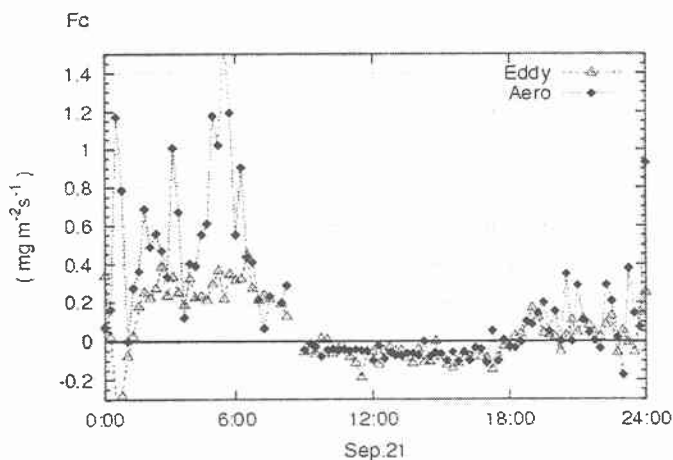
図 1. 2000 年観測における渦相関法と空気力学法の比較

3. バルク法に関する考察

我々が測定している海水中の  $CO_2$  濃度は厳密には「サンプル水中の  $CO_2$  濃度と平衡に達する乾燥空気中の  $CO_2$  分圧 (または濃度)」であり、海水中の濃度を大気中の濃度 (気圧) に換算した仮想物理量である。従って、③のバルク法によってフラックスを評価しようとするときは顕熱や水蒸気と同様に大気中の抵抗に関してバルク係数を乗じれば良いことになる。しかし、この考え方は従来の海洋化学の考え方によるフラックス

$$F = 0.12k(C_w - C_a) = 0.12k\alpha(p_w - p_a) \dots \textcircled{3}'$$

とは異なるものである。③'は水中におけるフラックスを表す式であり、水平方向の移流が無いと仮定した場合、両者の結果は同等となるはずである (図 2 参照)。ところが③と③'の結果を比較した場合、後者は 3 桁も小さく評価されてしまう。これは、主に交換係数  $k$  が小さいことが起因しているが、この値は風洞・水槽実験の結果および  $CO_2$  以外不活性ガスをトレーサーとした観測結果に拠るものであり、現実の海洋における値とは違う可能性があると考えられる。そこで、海水中における  $CO_2$  フラックスの評価を行うために次章の検討を試みた。



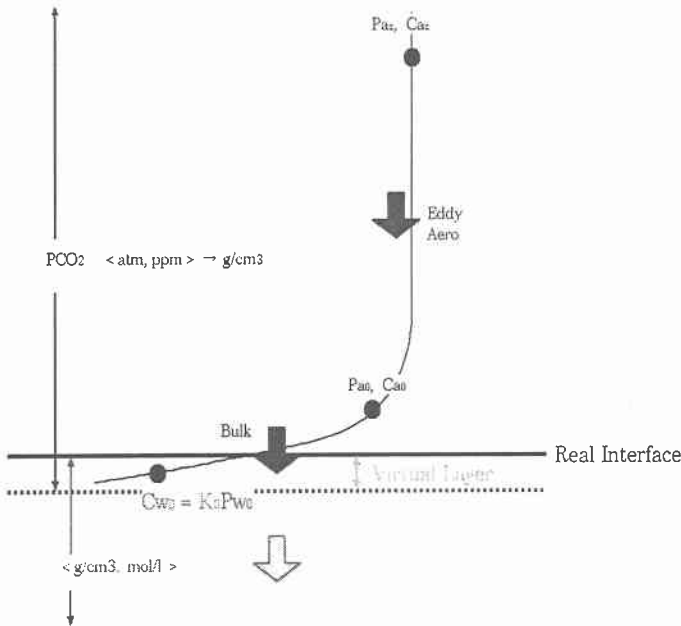


図 2. 大気-海洋系における CO<sub>2</sub> 濃度プロファイルとフラックスの概念図

4. 水中におけるフラックスの評価

水中傾度法によるフラックスは次の式で表される。

$$F = -c_{*w} \cdot u_{*w}$$

u<sub>\*w</sub> は以下の 2 つの方法で求めることができる。

1) 境界面において摩擦応力が連続であるはずだから τ<sub>0a</sub> = τ<sub>0w</sub> とし、求める。

$$\tau_{0a} = \rho_a \cdot u_{*a}^2, \quad \tau_{0w} = \rho_w \cdot u_w^2$$

$$u_{*w} = \sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_w}} \cdot u_{*a} = \sqrt{\frac{1.293}{10248}} u_{*a} = 0.0355 \times u_{*a} \quad (2)$$

流速において対数則を仮定

$$u_{*w} = \frac{k(U_{w2} - U_{w1})}{\ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right)}$$

図 3 は実験栈橋において ADCP によって測定した結果である。(a) から流速が対数則にほぼ従っていることがわかる。また (b) から 2 方法によって求めた u<sub>\*w</sub> は良い一致を示していると言える。

次に c<sub>\*w</sub> であるが、従来、筆者らは海水中 2 深度における pCO<sub>2</sub> から求めていたが、この方法では深い深度での pCO<sub>2</sub> がどういう量であるのかという物

理的意味が希薄である。

CO<sub>2</sub> は水に溶解することによって化学変化を起こし、その様態は塩分濃度や pH、海洋中のクロロフィル量によっても敏感に反応するものであり理解が非常に複雑である。今後は水中の全炭酸量を測定し、全炭酸の鉛直分布および pCO<sub>2</sub> との関係調べる必要があると考えている。

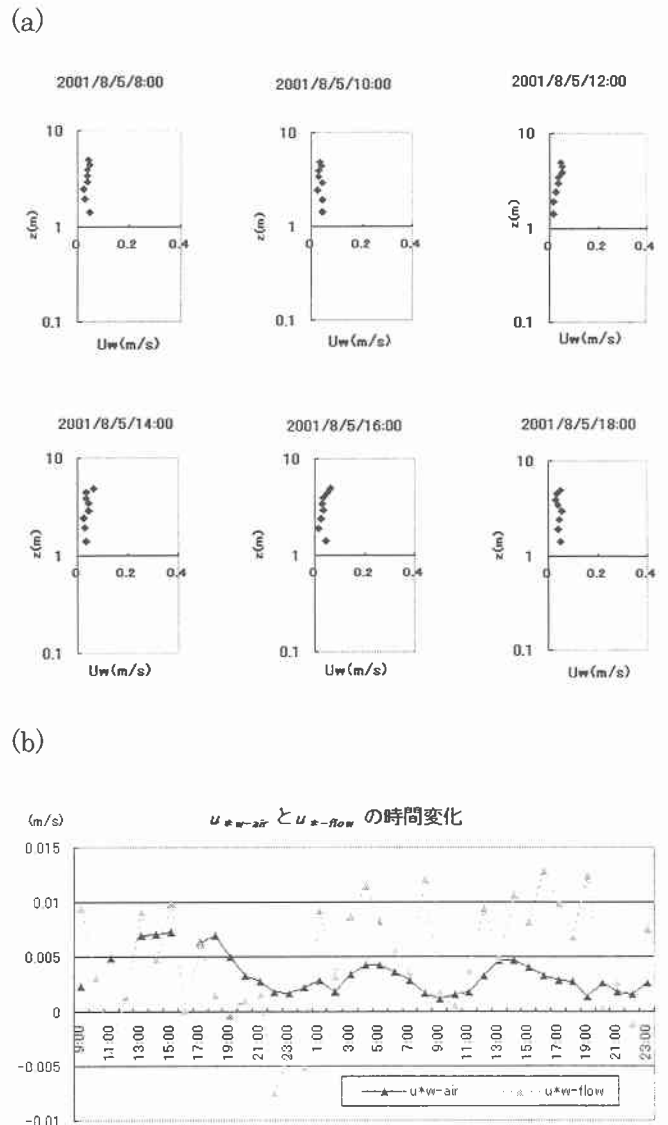


図 3. (a) 海流の流速プロファイル(縦軸は対数)と (b) u\* の経時変化.