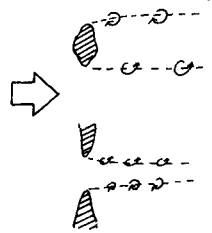


① はじめに

海流や潮流が島あるいは海峡を通過する場合、その下流には剥離点で発生した渦度に満たされた自由乱流境界層が形成される。1970年代より始まる乱流の coherent 構造の研究によれば、この自由乱流境界層においては、渦度が規則性を持つスケールの大きい coherent な渦に効率よく cascade up してゆくといわれている。この coherent な渦は流体の質量・運動量の輸送に大きい役割を果たすため、その挙動を把握することは極めて重要な問題である。ところで、この coherent な渦の挙動の追跡に際しては、“渦の強さ Γ ” を評価する事が必要となるが、従来の流速計を用いた現地測定手法によっては、この様な大スケール・非定常な渦現象の把握は困難であった。そこで、本論では、衛星写真、航空写真および Landsat からの MSS 映像を用いたリモートセンシング手法により、自然界に存在するスケールの大きい coherent な渦現象を把握し、その強さを算定する数種の手法について述べ、その適用例について報告する。

図-1



② Γ の算定式

図-2(a)は、渦度発生点、Pより剥離した自由乱流境界層の平均流速分布を示す。P点より発生した渦度が流下に際して保存されるものと看做し、検査面Iを通過する渦度の flux を求める。微小部分 dy を通過する流体の volume の flux は、単位時間あたり $u dy$ 、一方、単位 volume の持つ渦度は $\omega = \frac{du}{dy}$ 、従って、 dy 部分を通過する単位時間あたりの渦度の flux は

$$\omega \cdot u dy = \frac{du}{dy} \cdot u dy \quad \text{--- ①}$$

検査面 I を通過する単位時間あたりの渦度の flux は

$$\omega_{flux} = \int_{-\infty}^{\infty} \omega \cdot u dy = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{du}{dy} \cdot u dy = \left[\frac{1}{2} u^2 \right]_{-\infty}^{\infty} = \frac{1}{2} (U_1^2 - U_2^2) \quad \text{--- ②}$$

今、図-2(b)に示す様に、この自由乱流境界層が間隔 b 移動速度 C の coherent な渦の集まりからなっており、P点から剥離した渦度が100%この coherent な渦に集積しているものと仮定すると、渦1個あたりの強さ Γ は、

$$\Gamma = \omega_{flux} \cdot \tau = \frac{1}{2} (U_1^2 - U_2^2) \cdot \tau = \frac{1}{2} (U_1^2 - U_2^2) \cdot \frac{b}{C} \quad \text{--- ③}$$

ここに τ は coherent な渦の発生周期であって $\tau = \frac{b}{C}$ --- ④

③ Cheju 島沿岸の気流中のカルマン渦の強さの測定

Cheju 島は、朝鮮半島南方海上 100 km に位置する直径 70 km、高さ 2,000 m 弱の内陸形の島であり、図-3に示す様に、大陸からの気流による後流中に、カルマン渦にちとづく雲を生成することがある。レイノルズ数が $10^9 \sim 10^{10}$ とスケールの大きい現象である為、従来の現地観測手法による解析は困難であったが、工屋^{*}は時間を置いた2枚1組の衛星写真から得た雲の配列 a, b 移動速度 C をもとに、カルマン渦の移動速度の関係から

$$\Gamma = \frac{2b(U-C)}{\tanh \frac{\pi a}{b}} \quad \text{--- ⑤}$$

により渦の強さを求め、表-1の Γ_2 に示す結果を得た。しかしながら、この評価法はカルマン渦という特殊な渦列に対してのみ適用し得る式である。そこで筆者らは、

図-3



表-1

より一般的な coherent な渦に適用可能な③式、および前報において得られた Γ の算定式

$$\Gamma = U \cdot b \quad \text{--- ⑥}$$

を工座の観測結果に適用し、各々表-1の Γ_2, Γ_3 の値を得た。

表から、スケールの大きい coherent な渦の強さの評価法として、渦度の flux の保存則にもとづく③式の適用の妥当性が示された。

DATE	1969 3.5	1969 3.17	1969 3.22	1971 1.14	1971 3.13
a km	36.8	44.0	61.3	48.8	35.4
b km	110.8	71.0	86.1	121.8	76.2
C m/sec	7.0	6.5	7.2	6.0	6.9
U m/sec	9.2	10.5	12.0	8.3	10.5
$\Gamma_1 \cdot 10^9 \text{ m}^2/\text{s}$	6.3	5.9	8.4	6.6	6.1
$\Gamma_2 \cdot 10^9 \text{ m}^2/\text{s}$	6.7	6.0	8.6	7.0	6.1
$\Gamma_3 \cdot 10^9 \text{ m}^2/\text{s}$	10.2	7.5	10.3	10.1	8.0

④ 鳴門の渦の強さの測定

両端の陸岸の突出した地形を持つ海峡の代表的なものである

鳴門海峡においては、図-4に示す様に、大別して大小2つのスケールの渦が形成される。小スケールの渦は、いわゆる“鳴門の渦”と称されるもので、海峡沿岸部の自由乱流境界層中の coherent な渦であり、数十秒、発生周期数十秒のオーダーの渦である。一方、大スケールの渦は、この coherent な渦が半潮約6時間にわたって cascade up して生じた径 1~2 km 発生周期6時間の渦である。このような渦現象は、レイノルズ数が $10^9 \sim 10^{10}$ と非常に大きく、従来の現地測定手法によっては測定が困難であるため、本論文では航空機による写真撮影および Landsat による MSS データ収集の2種類のリモートセンシングを適用した。

(a) 航空写真による小スケール渦の強さの算定

写真-1は、高度 800 m から得られた鳴門の coherent な渦の航空写真の一例である。3秒間隔の2枚の航空写真から渦の間隔 b 移動速度 C を判読し、③式により、“鳴門の渦”の強さ Γ として、潮流流速 6.6 1ノットの時 $50 \sim 100 \text{ m}^2/\text{sec}$, 10ノットの時 $130 \sim 200 \text{ m}^2/\text{sec}$ の値を得た。これは、前報において、②式あるいは渦の凹みからランキン渦近似にもとづいて得た値と良く一致している。

(b) Landsat リモートセンシングによる大スケールの渦の強さの算定

Landsat による MSS データをもとに、鳴門海峡における6時間・数 km スケールの渦を観測して得られた映像の一例を写真-2に示す。映像に見られるフロントは、図-5に示す様な左旋、右旋の一对の大スケール渦からなる渦対であり、渦対固有の自己誘導速度

$$U_v = \frac{\Gamma}{2\pi l} \quad \text{--- ⑦}$$

により、播磨灘に向かって進行しているものと判読された。データ収集時の潮流状況を潮流表から求め、③式を半潮時約6時間にわたって積分した式

$$\Gamma = \int_0^{6 \text{ hr.}} \omega_{\text{flux}}(\tau) d\tau = \int_0^{6 \text{ hr.}} \frac{1}{2} U^2(\tau) d\tau \quad \text{--- ⑧}$$

を用いて、渦の強さとして $\Gamma = 9 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{sec}$ の値を得た。一方、他の異なる潮流時における映像との比較から、 U_v, l を求め、⑦式を適用して $\Gamma = 1.1 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{sec}$ の値を得た。この場合、海峡部に発生した渦度の約10%がこの大スケールの渦に cascade up したものと考えられる。

*) Kiyoshi Tsuchiya, "Cloud Features Associated with Mesoscale Phenomena during Cold Season as Revealed by Meteorological Satellite Pictures," The Geophysical Magazine vol.37, NO.1, (1974) pp.49~94.

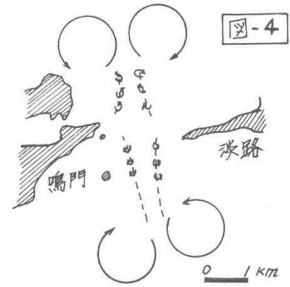


図-4

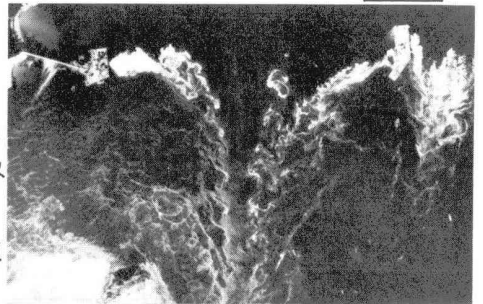


写真-1

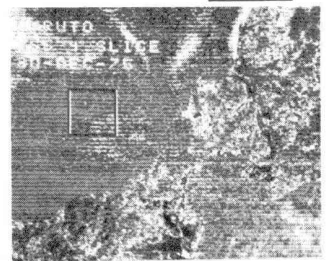


写真-2



図-5