

質 疑 応 答

質問は、東京都千代田区大手町 1-3-4、気象庁内

日本気象学会天気編集委員会宛、どうぞ

問：海面や湖面などで油やその他の浮遊物が風によって流される速さはどのようにして見積ったらよいのでしょうか。

答：まづ浮遊物を2種類に分けて考えてみます。〔その1〕水面に薄く広がった油、微細な塵埃、小さな紙片などのようにその厚さがミリメートル以下で、水の表面流に乗って流される場合。〔その2〕木片のような物が水に浮んだ時、その空中部分が直接風圧を、また水中部分が水面下の流れの影響を受ける場合があります。

これらが流される速さを知るには、水面附近の流速と風速の鉛直分布がわかればよいわけです。水面上の風速は高度によって変化し、数m以上の高度ではゆるやかですが、水面近くでは急激に弱くなっています。高度を Z 、風速を U とすれば、 $U \propto \log Z$ (ただし $Z \geq 1$ cm) の分布形で、例えば、 $Z=25$ m で $U=11$ m/s の時、 $Z=10$ m で $U=10$ m/s、 $Z=4$ m で $U=9$ m/s、 $Z=0.6$ m で $U=7$ m/s、 $Z=0.1$ m で $U=5$ m/s という具合です。(厳密に云うと、水温が気温より高温の時の変化はこれよりも少しゆるやかですが、逆に低温の時は少し急な変化をします。しかし、ここでは概略値について考えます。)

それから表面流速は高度10mの風速の2~5%でして、上の例の場合には0.2~0.5 m/s になります。(実際には潮流や海の深さにも関係し、深い場合は風速の3~5%の事が多いようですが、深さが数mで浅い湖沼などでは底の摩擦の影響で2~3%です。)ここでの表面流速と云うのは海洋学のほうで日常用いられている表面流とは違って、ほんとの意味の水面での値です。

水面の少し下の1mm程度の厚さの層での流速は急激な変化をし、また水面下1cmでの流速は表面流の50~80%、10cmでは30~70%、更にその下層では変化は次第にゆるやかになっています。これは平均的な場合の事として、水面から大体1mより下層での流れは複雑で、潮流などがあれば表面流とはまるっきり反対方向に流れていたりする場合もあります。

余談ですが、前述の1mm程度の厚さの層はスキン層と呼ばれ、水の上下混合が非常に弱いところとされてい

ます。そのため微細な浮遊物体(生物を含む)が拡散されにくく、別の意味でも重要な層として知られています。

さて、本論にもどり、〔その1〕の物体が流される速さを考えてみます。これは厚さが薄いので表面流速とほぼ等しい速度で流されます。すなわち、高度10mの風速の3~5%(海)、または2~3%(浅い湖沼)と見積られます。

〔その2〕の物体の場合は、原理的には物体に作用する風圧と水中部分の抵抗力がつり合う条件を求め、その時の物体の速度を計算します。厳密な計算は大変ですから簡単化・理想化をして考えます。今、求めようとする物体の流される速度を v 、空気中に出ている部分を風から見た時の断面積を S_1 、その断面に当たる平均的な風速を U_1 とすれば、物体が受ける風圧は $1/2 c_1 d_1 S_1 (U_1 - v)^2$ です。ただし、 c_1 は物体の抵抗係数でその形や風速によってちがいます。(レイノルズ数の関数。)また d_1 は空気密度です。同様にして水中部分が受ける抵抗力は $1/2 c_2 d_2 S_2 (v - U_2)^2$ です。ここに、 c_2 は抵抗係数、 d_2 は水の密度、 S_2 は物体の水中部分を流れから見た時の断面積、 U_2 は流速。それでの2つの力を等号で結び、その式から v を求めます。

簡単な例として、 $c_1=c_2$ 、 $S_1=S_2$ 、風速は前述の場合、空気中に出ている物体の平均的な高さと同部分の深さを共に0.1mとすれば、 $U_1 \approx 5$ m/s、 $U_2 \approx 0.2$ m/sと見なされるので、 $c_1 d_1 S_1 (U_1 - v)^2 = c_2 d_2 S_2 (v - U_2)^2$ を解けば、 $d_2/d_1 \approx 1000$ ですから、 $v \approx 0.35$ m/sが求まります。すなわち物体は高度10mの風速の3~4%または時速1.3km程度で流されることになります。この例は第一近以の v を求める計算ですが、これから得られる $(U_1 - v)$ 、 $(v - U_2)$ を使って風と流れのレイノルズ数をそれぞれ計算し、その数に対する c_1 と c_2 の第二近似値を用いて上で示した計算をくりかえせば、更に精度の良い v が得られます。そのほかに考慮しなければならぬ事が色々ありますが、ここでは省略し概算の方法だけを示しました。

(東北大理学部地球物理、近藤純正)