

底地形のある順圧 水路における形状抵抗と帯状平均流について

Form drag and the zonal mean velocity in a barotropic beta channel with a bottom topography

内本 圭亮[1]; 久保川 厚[1]

Keisuke Uchimoto[1]; Atsushi Kubokawa[1]

[1] 北大院地球環境

[1] Environmental Earth Sci., Hokkaido Univ

平らでない底の上を流れる流体には形状抵抗が働くことが知られている。例えば南極周極流では、形状抵抗が主たる運動量のシンクであると考えられている。形状抵抗は、流量に直接的に依存しないため、定常状態における形状抵抗と流量の関係ははっきりしていない。

底が平らでない水路海洋において、静止状態から海面風応力を与え加速させると、どのような流量で平衡状態に達するのか、あるいは、平衡にならず無限に加速されてしまうのか? 本研究ではこのことを調べるために、非常に単純な系で数値計算、数値実験を行った。形状抵抗と流量の関数に焦点をあてるために、帯状運動量のシンクが形状抵抗のみであるような非常に単純な系で研究を行った。モデルは順圧準地衡流、海底地形はサイン型とした。渦位方程式には渦度の拡散項が入っている。与える風応力は時間的にも空間的にも一定とした。この系においては、流量は帯状平均流に比例するので、以下では、帯状平均流を議論の対象とする。

静止状態から加速させる数値実験を行う前に、この系の定常解を調べた。定常解は、改訂マルカート法 (Levenberg-Marquardt-Morrison 法; LMM 法) で数値的に求めた。LMM 法では、初期推測解を必要としその推測解に近い定常解が得られる。本研究では、まず、系の非粘性厳密解を初期推測解として与えた場合に得られる定常解(準線形解)を、帯状平均流 U をパラメタとして求めた。

$U=0$ から U を大きくしていき定常解を求めていくと、安定な準線形解が得られる U には上限があり、それを越えると定常解は求まらないか、あるいは求まっても不安定であった。この安定な準線形解が求まる臨界流速は、海底地形よりも高次(高波数)のロスビー波の位相速度の大きさにほぼ一致し、非線形項による強制により高次モードが共鳴することが原因と推察された。

臨界流速より大きい U に対し、不安定な準線形解を初期値とし、 U を定数にして数値積分を行うと、形状抵抗が非常に大きい 2 種類の強非線形定常解が存在することが示された。1 つは奇モードに対し不安定な対称モードからなる定常解で、もう 1 つは非対称なモードも含む安定な定常解である。後者には、対称モードは同じで非対称モードの符合のみが反対の 2 つの解がある。これらの解は、臨界流速より小さい U に対して得られた安定な準線形解とつながっており、それがピッチフォーク型分岐したものである。このような解の性質を広いパラメタ空間(帯状平均流速 U 、拡散係数、海底地形の振幅)において詳細に調べた。その結果、海底地形の振幅が大きくなればなるほど臨界流速はより高次のロスビー波の位相速度の大きさへと移っていくことが分かった。すなわち、より小さい帯状平均流速を境にして安定な準線形解がなくなっていった。しかし、どのケースにおいても臨界流速以下では安定な準線形解が存在し、臨界流速より大きい U に対しては、形状抵抗の大きい強非線形定常解が 2 種類存在するという解構造は共通である。通常重要であると考えられている海底地形と同じ波数を持つ波の共鳴は解の性質に影響を与えなかった。

次に静止状態の水路海洋に風応力を与える数値実験を行った。風応力が十分小さく、安定な準線形解が存在する場合には、その定常解に収束し、風応力の増加とともに定常時の U も大きくなった。風応力が十分大きく安定な定常解が得られていない場合には無限に加速された。その中間の風応力の場合には、帯状平均流速 U は幅広い風応力の値に対し、風応力の値によらず、ある一定の値の近傍で定常になるかあるいは振動するかであった。振動する場合でも、最大値と最小値の平均値はほぼ一定の値となった。この値は LMM 法で得られた定常解における臨界流速近傍になった。

以上の結果から、このような水路海洋を加速させた場合には、定常に達したときに取り得る帯状平均流速は、風応力よりも海底地形の振幅や拡散係数に依存して決まっています。海底地形よりも高次の波の位相速度の大きさ近傍になっている可能性があることが示唆される。海底地形より高次の波の非線形共鳴によってその波の共鳴流速で形状抵抗が大きくなるためと考えられる。