

19 波浪中の船の転覆現象とそのコンピュータアニメーション

大阪大学工学部

長谷川 和彦

浜本 剛実

1 はじめに

船は傾くと重心と浮心が違うため、重力と浮力により偶力モーメントが船を元に戻すように働く。これを船の復原力という。ふつう、この復原力が基準を満たしていれば転覆しない。

しかし、船と波がある関係になったときに危険な状態になることが船乗りの経験からいくつか知られている。そのひとつに追波(斜め追波を含む)中の転覆があり、最近では漁船のみならず、高速コンテナ船でも転覆する危険性があることが指摘されている。

我々の研究室では長年この問題に取り組んでおり、模型船を用いた転覆実験とその計算機シミュレーションによりそのメカニズムを明らかにし、新しい復原性基準の提案を行なおうとしている。その中で転覆をも含む波浪中の大運動(それが実験結果であれ、シミュレーション結果であれ)を表現する手段としてCGを用いたアニメーションに着目し、現象の理解に予想以上の効果を得た。

その後さらに、計算機能力が上がったのを機にリアルタイムで計算と表示を行い、船の転覆運動も再現できる波浪中の操船シミュレータ(転覆シミュレータと称す)を試作して転覆を避けるための操船マニュアル作り等に活用している。

2 波浪中の船体運動と流体力

ある速度で航行中の船は図1に示すように、前後動(surge)、左右動(sway)、上下動(heave)と呼ばれる3軸方向に平行な運動と、縦揺れ(pitch)、横揺れ(roll)、船首揺れ(yaw)と呼ばれる3軸回りの回転運動が複合した6自由度の運動をする。これは航空機や自動車でも同じである。船の場合、流体の自由表面上を航走するため、その境界面である波の影響が大きい。

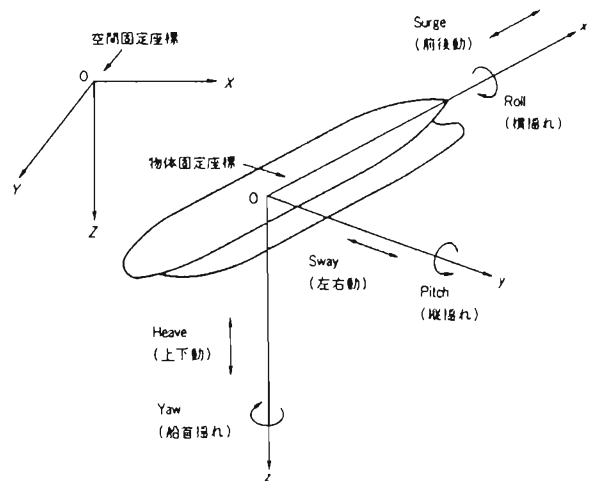


図1 船の運動とその呼称

波浪中を動揺する船に働く力には、慣性力、船体動揺に伴う変動流体力、入射波の波強制力と入射波が船体により散乱させられるために生じる散乱波の圧力、そして、粘性流体力などがある。そして、その多くは船体没水部の形状により変化する流体力である。ところがその没水部形状は、これらの流体力と重力や浮力との釣合によって決まる。そこで、波のなかでの釣合位置を求め、その状態での流体力と運動方程式の係数を求め、連立の微分方程式を解いて運動を求め、次の姿勢を決める。これを繰り返すことになる。これらの流体力や運動方程式についての詳細は文献[1, 2, 3]を参照されたい。

転覆のシミュレーションとそのアニメーション

このようにして求めたシミュレーションの結果の一例を図2に示す。上から roll と pitch を表す船の正面図と側面図、波の側面図と上空から見た図に船の位置と yaw を重ねた図、そして、roll、pitch、yaw の時系列である。なお、時系列中の○印は同一状態での実験結果である。専門家が見れば、約7秒目ごろ、ふたつの波に追い越された後波の山付近で転覆していることがわかる。この図でもかなり状態がわかりやすいように工夫したのだが、一般に6自由度の運動、まして波との関係を時系列だけで理解するのは相当難しい。

これをCGを用いてアニメーション化すると(同一のシミュレーション結果ではないが)図3のようになる(一部のシーンの抜粋)[4]。

もちろん、学術的には図2のような時系列でないかとあてで分析するのに不便であるが、たとえば、シミュレーションした船の動きが波の動きに対して何か不自然なときは、きっと運動モデルや流体力などにまちがいがあることがある。CGにはこんな効果がある。

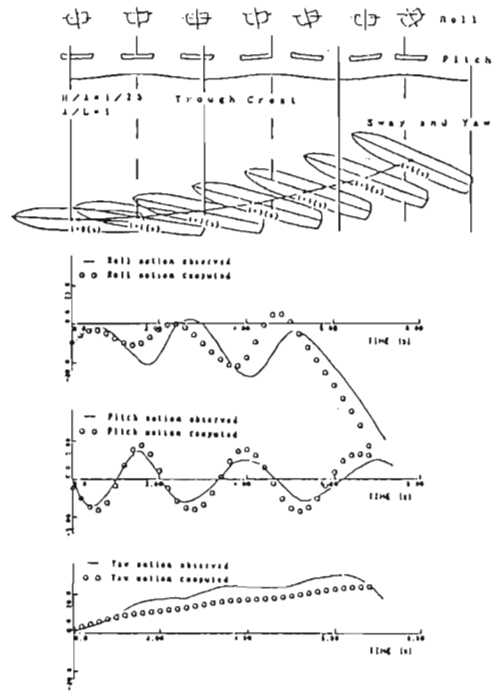
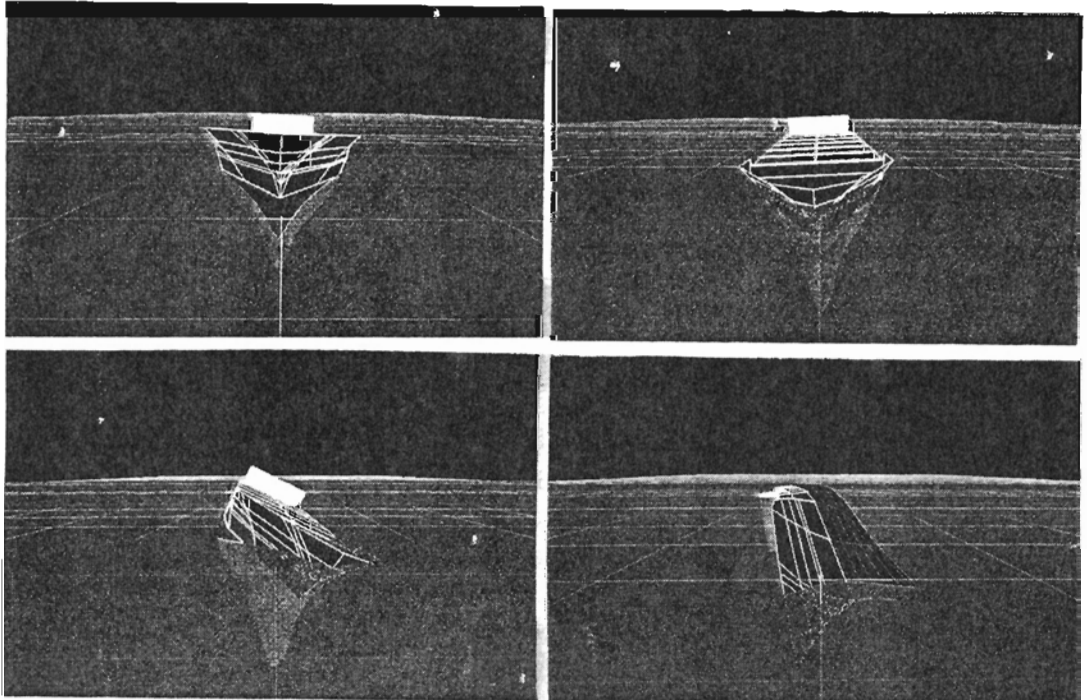


図2 転覆運動のシミュレーションと実験結果の一例

図3 転覆運動のアニメーション(下図)



4 転覆シミュレータの試作

図3に示したアニメーションの利点は運動の直感的理解ができ、現象の定性的特徴が把握しやすいことと、視点を自由に換えられることである。ここでは紙面の都合で示さないが、水中や船の上からも転覆の様子を見ることができる。

このようにして、自然と転覆シミュレータの構想ができた。問題は操船のための指示を入力するためのインターフェイスとリアルタイムでの計算が可能なことである。さいわい、計算機の発達は速く、講演では実時間のシミュレーションをお見せする予定である [5]。

5 おわりに

CGが得意とする分野のひとつにアニメーションがある。静止物体であるにもかかわらず、その中を動き回るだけでその環境を模擬体験できる建築や文化遺産の景観シミュレーションは非常に効果的であり、新しい建築物や都市計画を設計する際にはいまや当たり前になりつつある。さらに、リアルタイムで動き回れる個人住宅向けの疑似体験システムなども開発されている。

一方、現在の流れのアニメーションは前もって計算しておくいわゆるポスト処理が中心である。それは、流れの計算が膨大であり、実時間での処理が不可能なのが理由だが、これからは計算機的能力が上がり、実時間と言わないまでもインタラクティブな流れのアニメーションシステムが重要となる。自動車や船舶まわりの流れのアニメーションで物体の姿勢や局所的な変形を与えて流れの変化を見ることができれば、本来の数値風洞、数値水槽となる。

ここではそれを簡単な変形を伴わない流れ（波）とその中の物体の運動という問題を解いたことに相当する。ある視点からそれを見ると流れのアニメーションに、物体に視点を移して見れば、景観シミュレーションとしてのシミュレータになることを示した。

参考文献

- [1] M. Hamamoto et al.: Study on Ship Motions and Capsizing in Following Seas (1st, 2nd, Final Report), 日本造船学会論文集 (船論)、第 163,165,170 号、(1988,1989,1991).
- [2] 浜本剛実他: 斜め追波中の船の転覆とその原因の分析、船論、第 172 号、(1992).
- [3] 浜本剛実他: 波浪中の操縦運動を記述する新しい座標系とその運動方程式、船論、第 173 号、(1993).
- [4] 長谷川和彦: 船の転覆現象を再現するコンピュータ・アニメーション、PIXEL、No. 87、(1989).
- [5] K. Hasegawa et al.: Preliminary Study Towards a Capsizing Simulator, Proc. of Intern'l Maritime Conf. "The Impact of New Technology on the Maritime Industries", Southampton, UK. (1993).