



## 研究ノート

## 船の転覆とその復原性能

浜 本 剛 実\*

未知を求めて人々が海に乗り出して以来、時として大洋を荒れ狂う嵐の中で船は木の葉のようにもまれ、遭難転覆する例は、特に小型船では今だにその跡を断たない。このような遭難がどのような海象下で、またどのような力学的メカニズムで起きるかは船乗りや造船屋のみならず、事故の発生する度に一般の人々の注意をひいて来た。船の転覆事故は船ばかりでなく、貴重な人命さえも失う悲惨事であり、“板子一枚下は地獄”という探険航海時代の観念は現代の人命尊重社会では通用しない。

このような社会的要請と技術的な経験によって、これまでに海洋波と船の運動に関する多くの知識がもたらされたが、荒天中で船が転覆にいたるメカニズムは複雑多岐にわたり、現在なお不明な点が多いようである。

転覆に最も関係の深い船の性質は、古くから知られているように、船の横傾斜とその復原力である。この復原力は船の重心に働く船体重量と、横傾斜にともなって移動する浮力中心に働く船体没水部の浮力とに基づく偶力モーメントであり、この偶力の腕が復原力を規定する基本的要素で復原挺と呼ばれている。このような概念がいつ頃できたかは知らないが、これの力学的関係は1798年に発表された Atwood の公式で明らかにされている。

この復原力は船の直立時から傾斜角に比例して増大するが甲板の片側が没水する近傍で最大値に達し、これ以後は傾斜角の増大にともなって減少する性質があるので、やがて船は復原力を喪失して転覆にいたる。この間、船が転覆するまでに要する仕事量は復原力を直立時から復原力喪失角まで積分して求められることが1850

年、Moseleyによって示された。また船の横揺やその固有周波数に関係する傾斜角が小さいときの初期復原力は復原挺を傾斜角で微分したメタセンター高さと呼ばれる値で表わされ、上記二者と共に船の復原性能を規定する上で重要な指標となっている。

しかし実際には、このような船の横傾斜に関する簡にして要を得た力学的関係のほか、自然の風や波、さらに船体運動が復原力に直接間接の影響を及ぼすので、これらとのかかわり合いをどのように見積るかという点に不確定さと現実的な問題が介在することになる。つまり、どのような環境条件に対しても絶対安全であるという船はその社会的な使命を遂行する上で船として成立たない。したがって、船の復原性能の判定にはその環境条件の合理的な想定がきわめて重要となる。

このような観点から、まず船の環境としての風や波に関する研究の経過をふり返ってみると、比較的近年になって着手されたようである。

第二次大戦中、連合軍の艦艇や舟艇によるヨーロッパ・アフリカ上陸作戦の必要に応えるために、Suerdrup や Munk は波浪の予報理論を作った。これが1947年、米国海軍の水路部より公表されて以来、以後の統計理論の発達と相まって目ざましい発展の途が開かれたと言われている。これは1845年に発表された海洋波を自然には存在しない単純波形で代表する Airy の小振幅波浪理論に比べて実用性の高いもので、波の生成、発達、減衰の性質が流体力学には関係なく、確率過程として取扱われているところに大きな特色がある。この場合、同じ条件の下で波形を多数記録すると、そのときの気象条件や過去の履歴に応じた固有の性質がその中に内蔵されているはずであると考える。したがっ

\* 浜本剛実 (Masami HAMAMOTO), 大阪大学, 工学部, 造船学科, 助教授, 工学博士, 船体運動力学

て、これの表現にはこのような確率過程の性質を最もよく表わす相関関数や、さらにこれをフーリエ変換したスペクトラム関数が用いられている。

このような手順に従って、Neumann は海洋波の記録を多数分析した結果から、風によって出来る波のスペクトラム分布と風速との間には一定の関係があることを発見し、波のスペクトラムを風速をパラメータとして波の周波数の関数で表わす関係式を1953年に提案した。

また、この波のスペクトラム表現は解析の手順からも明らかのように、さまざまな周波数をもつ正弦波が無数に重り合って海洋波ができていることを証明したもので、そのような周波数をもつ波の中で動揺する船の応答も流体力学には関係なく、運動力学的に求めようとする試みがなされた。丁度、前記の Neumann スペクトラムが発表された頃に、St. Denis と Pierson は電気工学の分野で発達していた周波数応答関数の考え方を導入してこれを試み、その結果は以後の船体運動力学の発展に決定的な影響を与えた。さらに、単位応答関数の考え方が山内によって導入されるに至り、周波数領域のみでなく、時間領域で船の動揺が推定できるようになり、これらの成果は現在、船体動揺に関する応答理論として実用化されている。

また一方では、これと並行して波浪中で動揺している船に働く力の流体力学的研究が試みられ、Korvin-Kroukousky は規則波中で上下揺及び縦揺している船に働く力を巧妙な方法で解析的に導く微小動揺理論を1955年に示した。その後、この方法は Ursell-田才流の造波理論と光の波に関する概念が取入れられ、さらに精密化され、あらゆる方向から波を受ける船の微小動揺にともなう力を流体力学的に求めることができたまでに発展した。そこで、運動力学的な解析に主眼を置いた応答理論と結びつき、微小動揺理論が近年完成の域に達したと言われている。

一般に、船が実際の航海中に遭遇する波浪は極めて不規則であって、その中での船の動揺も不規則であるが、船に働く波の力と船の動揺との間の関係は決定論的に決まり、船の横揺、縦揺、船首揺の波に対する応答は、特に、波の周

波数についての選択性が強い。したがって、波スペクトルの周波数分布に依存して、船体動揺の振幅は大幅に異なって来る。この間の事情を解析的に明らかにする上で微小動揺理論は応答理論にあずかって力があつた。

また、実用面では船を運用する海面のスペクトラムの中で、動揺の少ない船の形状寸法を決める基本設計に活路が開かれている。さらに、この方法の延長線上で、大動揺をとまらぬ船の転覆現象の解明が最近、試みられつつある。

このような波と船の動揺に関する新しい技術的な発展の中で、一方では、船の転覆に関してもう少しいつをしばった従来からの復原性理論が継承されている。これは前述した船の復原挺、転覆エネルギー、メタセンター高さなどに着目して、大きな横傾斜をとまらぬ動揺を取扱う理論で、波面に浮んでいる船に働く波圧に関する理論も Froude (1861年) や Kriloff (1896年) によって確立され、この頃までにはほぼ今日の程度に達していたと言われている。その後、1950年代に海上における人命の安全という見地から、世界の多くの国々で船の復原性能を法規で規制するようになって、転覆の危険性が最も高い状態として、船が強い横風横波を受ける場合を想定した実務的な研究が活発に行われた。この状態についての復原性規則は、米国が1952年に、日本と東独が1956年に、ポーランド1957年そしてソ連が1959年にそれぞれ復原性基準を制定して実施している。また英国やスペイン等は内規で規定しているようである。

しかしまた、転覆の危険性が高い状態は船が強い横風横波を受ける場合のみではなく、船が追波を受ける状態で復原力が極端に増減することが Grim (1952年) によって見出され、その後、Kerwin (1955年) と Paulling (1961年) がこれの原因を解析的に明らかにした。この状態では復原力の減少が波の大きさによっては50%にも及ぶことがあり、このような原因で起こる大きな横揺が縦揺や船首揺とも連成して、転覆の危険性が極めて高いことが実験的に示されている。

このことは船の安全性を考える上で、技術的な解明のむつかしさを暗示しており、今後の重要な研究課題の一つではなからうか。