

平成 21 年 5 月 14 日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18360415  
 研究課題名（和文） 新国際基準で求められる波浪中船舶の転覆リスクの非線形力学的評価法の確立  
 研究課題名（英文） Non-Linear Dynamic Approach on Capsizing Risk of Ships in Waves towards New International Stability Criteria  
 研究代表者  
 梅田 直哉（UMEDA NAOYA）  
 大阪大学・大学院工学研究科・准教授  
 研究者番号：20314370

## 研究成果の概要：

国際海事機関 I M O で復原性基準の機能要件化の対象として取り組むべきとされる 3 つの現象、パラメトリック横揺れ、ブローチング、デッドシップ状態での転覆について、主に不規則波中の発生確率に着目して研究を行いました。その結果、これらの転覆モードごとに不規則波中の発生確率の推定法を示し、その模型実験、数値実験による検証を行うとともに、問題点を指摘しました。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2007年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2008年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
年度			
年度			
総計	12,100,000	3,630,000	15,730,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：転覆確率、パラメトリック横揺れ、ブローチング、デッドシップ状態

## 1. 研究開始当初の背景

船舶の復原性は、国際海事機関 (IMO) の基準によって判定されています。日本では 1958 年、当時の船舶工学と実績データを駆使した基準が制定されました。これは横波横風中の同調横揺れを考慮したエネルギーバランスの考え方と事故データとのチューニングにもとづいており、ウエザークライテリオンと呼ばれます。この日本の基準は国際的にも高く評価され、1985 年 IMO において国際基準として取り入れられました。それから数十年が経過した現在、新しいタイプの船舶、たとえ

ば海上都市のようなメガクルーズ客船や 10000 個のコンテナを同時に運ぶポストパナマックスコンテナ船、の出現により、ウエザークライテリオンも、適用困難であってすみやかに改正すべしとの意見が欧米諸国から IMO で声高に語られるようになりました。具体的な問題としては、メガクルーズ船が明らかに安全であるにもかかわらず設計困難となったり、ポストパナマックスコンテナ船で今までとまったく異なる激しい横揺れが生じてコンテナの大量損傷が起こったこと、高速旅客船が波浪中操縦不能となって大傾斜

することなどです。

IMOではこの解決のため2002年より、ウエザークライテリオンを含む非損傷時復原性コードの抜本的改正の審議を開始しました。ここで我が国には、ウエザークライテリオンの提案国として有効な改正を主導する責任、世界有数の造船、海運国としての利害があり、これに積極的に取り組む必要があります。本課題の研究代表者である梅田はそのIMOへの日本代表団のメインスピーカーとして、また国内対応委員会(RR-SPL)の委員長として、2002年より一貫してこれに取り組んでいます。一方、従来の経験則的基準には限界があり、今後は模型試験や数値シミュレーションを利用した直接的な安全性評価に世界的な技術の流れがあることから、IMOでは新しいコードがこのような直接評価を大幅に取り入れることで合意されました。特に、パラメトリック横揺れ、ブローチング、デッドシップという3つの代表的シナリオをカバーできる評価が求められており、早急にこれらの直接復原性評価法を、造船・海運先進国たる我が国から発信することが不可欠であるといえます。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、パラメトリック横揺れ、ブローチング、デッドシップという3つの代表的シナリオについて、転覆などの事故の発生確率を推定する方法論を提案することです。

### (1) パラメトリック横揺れ

この現象は、船の復原力が周期的に変化することで発生する横揺れで、外力による同調横揺れをはるかに上回る大きな振幅となり、転覆や積荷への被害につながります。この現象は、復原力を静的に計算し、規則波を扱う限り、古くから理論的にはマシューの不安定として知られる現象です。ところが実際の海洋波中への適用には、不規則波を扱うことが不可欠であり、その影響を正しく評価できる理論はまだ存在しません。本研究では、梅田らの研究の蓄積をもとに、不規則波中で復原力への動的影響を考慮して、パラメトリック横揺れによる危険リスクを正しく評価できる方法の構築を目指します。

### (2) ブローチング

この現象は、船が波によって運ばれる際、その方向安定性が波のため失われ、最大限の操舵を行っても急旋回が生じるものです。このときの遠心力は現行の基準を満たす船でも転覆させることがあります。本研究では、実務での直接復原性推定のため、梅田らの規則波中の方法論を不規則波に拡張することを試みます。

### (3) デッドシップ

フリーク波とも呼ばれる異常に険しい波に遭遇すると大型船でも、操舵室の窓ガラスが

壊され流入した海水で操船機能を一切失うことが最近しばしば報告されています。このような状態をデッドシップといい、操船の助けを受けることなく転覆しないことが少なくとも求められます。このとき前後対称に近い船では横波横風を長時間受けます。梅田らは、このような状態での不規則波中の転覆確率の計算を以前から試みており、最近では区分線形近似を用いる方法で、長期予測、精度の検証、甲板滞留水の影響を研究しています。本研究では、前後対称でない船にも適用できるように、漂流姿勢の影響も含めた不規則波中の転覆確率の計算法を構築します。

## 3. 研究の方法

### (1) パラメトリック横揺れ

コンテナ船、自動車専用運搬船について、模型実験を実施するとともに、パラメトリック横揺れについての数値シミュレーション・モデルを規則波から不規則波に拡張しました。さらに、一次信頼性法によりパラメトリック横揺れの限界角超過確率を計算し、さらに北太平洋におけるコンテナ損傷リスクを求めました。

### (2) ブローチング

2軸2舵船の模型実験を実施するとともに、分岐理論により波乗り発生限界の簡易推定、最適制御理論により操船要素のブローチングに与える影響を検討しました。さらに、ブローチングやそれによる転覆の確率を、数学モデルより推定する理論を提案し、数値シミュレーションと比較しました。

### (3) デッドシップ

2軸2舵船や自動車専用運搬船の模型実験を実施するとともに、波と風の中での漂流姿勢の推定計算を行いました。また、横揺れ角アップクロス発生時の横揺れ角速度の確率分布、その転覆確率へ与える影響、一次信頼性法の適用性の検討を行いました。さらに、得られた計算法により、代表的な客船・貨物船の転覆リスクを計算しました。

## 4. 研究成果

### (1) パラメトリック横揺れ

数値シミュレーション・モデルによって、規則波中のパラメトリック横揺れはある程度実験結果を説明できるものの、不規則波中では最大振幅を過大に評価することが多いことを確かめました。この理由を調べると、不規則波中の復原力係数の変化についてはよく推定できているものの、波による抵抗増加が不規則波中では長周期で時間変動するためそれによりパラメトリック横揺れ振幅が減少すること、不規則波中ではパラメトリック横揺れの発生と消滅を繰り返し非エルゴード性や横揺れ減衰力の推定精度の影響が無視できないことなどが明らかとなりました。

た。さらに北太平洋におけるコンテナ損傷リスクを計算すると、排水量の1%弱の重さのアンチローリングタンクをコンテナ船に搭載すると、コンテナ事故による損失額が設置費用を上回り、費用便益効果のある対策であることがわかりました。

## (2) ブローチング

分岐理論により波乗り発生限界の簡易推定法を提案するとともに、最適制御理論による保針操舵がバンバン制御となること、それによっても波乗りが起こればブローチングが回避できないことを明らかにしました。また、規則波中の数値シミュレーション結果と狭帯域仮定の個別波の統計理論からブローチング発生確率を求める方法を提案し、その計算値が不規則波中の数値実験による値とほぼ一致することを示しました。さらに、この方法を拡張し、ブローチングによる転覆の確率が波乗り発生限界を超えると急増することを示しました。

## (3) デッドシップ

決定論的な波と風の中での漂流姿勢とその安定性の推定計算を行い、横波横風があるカーフェリーについて最も転覆確率が大きくなることを確認しました。また、横揺れ角アップクロスが発生時の横揺れ角速度の確率密度分布がレイレイ分布となることを模型実験により見出し理論的にも確認しました。そしてその考え方にもとづき転覆確率を計算する方法を新たに導き、転覆の最終段階で同調横揺れの影響を無視できるとする近似計算法の妥当性を検証しました。さらに得られた計算法により、代表的な客船・貨物船の転覆リスクはおおむね妥当であるが、カーフェリーでは海象による運航制限、自動車専用運搬船では海水流入位置の適切な設計が必要であることもわかりました。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 32 件)

- ① Atsuo Maki and Naoya Umeda, Numerical prediction of the surf-riding threshold of a ship in stern quartering waves in the light of bifurcation theory, *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 14, No. 1, in press, 2008, 有
- ② Gabriele Bulian, Alberto Francescutto, Naoya Umeda and Hirotsada Hashimoto, Qualitative and Quantitative Characteristics of Parametric Ship Rolling in Random Waves in the Light of Physical Model Experiments, *Ocean Engineering*, Vol. 35, Nos. 17-18, 1661-1675, 2008, 有

- ③ Belenky, V., J. O. de Kat and N. Umeda, Towards Performance-Based Criteria of Intact Stability, *Marine Technology*, Vol. 45, No. 2, 101-120, 2008, 有
- ④ N. Umeda, S. Yamamura, A. Matsuda, A. Maki and H. Hashimoto, Model Experiments on Extreme Motions of a Wave-Piercing Tumblehome Vessel in Following and Quartering Waves, *日本船舶海洋工学会論文集*, 第8号, 123-129, 2008, 有
- ⑤ 牧敦生、上野誠也、梅田直哉, 最適制御理論を用いたブローチングの研究, *日本船舶海洋工学会論文集*, 第8号, 116-121, 2008, 有
- ⑥ 牧敦生、梅田直哉、上野誠也, 追波中保針問題に対する最適制御理論の応用, *日本船舶海洋工学会論文集*, 第7号, 207-212, 2008, 有
- ⑦ 橋本博公、山谷悠、松田秋彦, 翼型付加物による船舶の転覆防止に関する研究(第2報), *日本船舶海洋工学会論文集*, 第8号, 139-146, 2008, 有
- ⑧ Umeda, N., Hashimoto, H., Stern, F., Nakamura, S., Hosseini S.H., Matsuda, A. and Carrica P., Comparison Study on Numerical Prediction Techniques for Parametric Roll, *Proceedings of the 27th Symposium on Naval Hydrodynamics*, -, 201-213, 2008, 有
- ⑨ L. Alford, A. Banik, V. Belenky, K. Ellermann, H. Hashimoto, A. Maki, L. McCue, M. Neves, C. Rodriguez, A. Troesch, N. Umeda and K. Weems, Discussion on Analytical Approaches to the Study of Vessel Dynamics, *Marine Technology*, Vol. 45, No. 4, 211-220, 2008, 有
- ⑩ Umeda, N., Araki, M. and Hashimoto, H., Numerical Simulation on Dynamic Behavior of a Trimaran Running in Following and Quartering Waves, *Proceedings of 3rd PAAMES and AMEC2008*, -, 197-203, 2008, 無
- ⑪ Umeda, N., Hashimoto, H., Ikeda, Y., Ogawa, Y. and Kogiso, N., Towards New Generation Intact Stability Criteria, *Proceedings of 3rd PAAMES and AMEC2008*, -, 189-196, 2008, 無
- ⑫ Hashimoto, H., Umeda, N., Preventing Parametric Roll with Use of Anti-Rolling Tank for a Large Containership in Head and Following Waves, *Proceedings of the 4th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics*, -, 73-78, 2008, 無
- ⑬ Naoya Umeda, Alberto Francescutto, Performance-Based Ship Operation,

- Proceedings of the 2nd International Workshop on Risk-Based Approaches in Maritime Industry, -, 2. 2. 1-2. 2. 9, 2008, 無
- ⑭ Maki, A., N. Umeda, Analytical Predictions of Surf-Riding Threshold and Their Experimental Validation, Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Ship Stability Workshop, -, 71-78, 2008, 無
- ⑮ Umeda, N., A. Maki and M. Araki, Some Issues on Broaching Phenomenon in Following and Quartering Seas, Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Ship Stability Workshop, -, 87-94, 2008, 無
- ⑯ Umeda, N., Current Problems in Ship Intact Stability and Activity from JASNAOE SCAPE Committee -Final Report of SCAPE Committee (Part 1), Proceedings of the 6<sup>th</sup> Osaka Colloquium on Seakeeping and Stability of Ships, -, 259-264, 2008, 有
- ⑰ Hashimoto, H., N. Umeda, Y. Ogawa, H. Taguchi, T. Iseki, G. Bulian, N. Toki, S. Ishida and A. Matsuda, Prediction Methods For Parametric Rolling with Forward Velocity and Their Validation -Final Report of SCAPE Committee (Part 2), Proceedings of the 6<sup>th</sup> Osaka Colloquium on Seakeeping and Stability of Ships, -, 265-275, 2008, 有
- ⑱ Ogawa, Y., N. Umeda, D. Paroka, H. Taguchi, S. Ishida, A. Matsuda, H. Hashimoto and G. Bulian, Prediction Methods For Capsizing Under Dead Ship Condition and Obtained Safety Level -Final Report of SCAPE Committee (Part 4), Proceedings of the 6<sup>th</sup> Osaka Colloquium on Seakeeping and Stability of Ships, -, 285-297, 2008, 有
- ⑲ Umeda, N., H. Hashimoto, A. Maki, M. Hori, A. Matsuda and T. Momoki, Prediction Methods For Broaching and Their Validation -Final Report of SCAPE Committee (Part 6), Proceedings of the 6<sup>th</sup> Osaka Colloquium on Seakeeping and Stability of Ships, -, 307-313, 2008, 有
- ⑳ Umeda, N. and I. Tsukamoto, Simplified Formula for Calculating Effective Wave Coefficient and Its Impact on Ship Stability Assessment, Proceedings of the 6<sup>th</sup> Osaka Colloquium on Seakeeping and Stability of Ships, -, 329-333, 2008, 有
- ㉑ Kogiso, N. and Y. Murotsu, Application of First Order Reliability Method to Ship Stability, Proceedings of the 6<sup>th</sup> Osaka Colloquium on Seakeeping and Stability of Ships, -, 299-306, 2008, 有
- ㉒ Umeda, N., S. Yamamura, A. Matsuda, A. Maki and H. Hashimoto, Extreme Motions of a Tumblehome Hull in Following and quartering Waves, Proceedings of the 6<sup>th</sup> Osaka Colloquium on Seakeeping and Stability of Ships, -, 437-443, 2008, 有
- ㉓ 牧敦生、梅田直哉、堀正寿, 追波中における波乗り発生の閾値を表す大域的分岐点の推定, 日本船舶海洋工学会論文集, 第 5 号, 205-215, 2007, 有
- ㉔ Paroka, D. and N. Umeda, Effect of Freeboard and Metacentric Height on Capsizing Probability of Purse Seiners in Irregular Beam Seas, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 12, No. 3, 150-159, 2007, 有
- ㉕ Umeda, N., H. Hashimoto, S. Minegaki and A. Matsuda, An Investigation of Different Methods for the Prevention of Parametric Rolling, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 13, No. 1, 13-26, 2008, 有
- ㉖ Umeda, N., S. Koga, J. Ueda, E. Maeda, I. Tsukamoto and D. Paroka, Methodology for Calculating Capsizing Probability for a Ship under Dead Ship Condition, Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Ship Stability Workshop, -, 1. 2. 1-1. 2. 19, 2007, 無
- ㉗ Hashimoto, H., N. Umeda and G. Sakamoto, Head-Sea Parametric Rolling of a Car Carrier, Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Ship Stability Workshop, -, 3. 5. 1-3. 5. 7, 2007, 無
- ㉘ Umeda, N., M. Shuto and A. Maki, Theoretic Prediction of Broaching Probability for a Ship in Irregular Astern Seas, Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Ship Stability Workshop, -, 1. 5. 1-1. 5. 7, 2007, 無
- ㉙ Umeda, N., E. Maeda and H. Hashimoto, Capsizing Risk Levels of Ships Under Dead Ship Condition, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Annual Conference on Design for Safety, -, 87-91, 2007, 有
- ㉚ Belenky, V., J. O. de Kat and N. Umeda, On Performance-Based Criteria for Intact Stability, Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Symposium on Practical Design of Ships and Floating Structures, -, 309-321, 2007, 有
- ㉛ Umeda, N., H. Hashimoto, S. Minegaki and A. Matsuda, Preventing Parametric Roll with Use of Devices and Their Practical Impact, Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Symposium on Practical

Design of Ships and Floating Structures,  
-, 693-698, 2007, 有  
⑤梅田直哉、牧敦生、橋本博公、追波、斜め  
追波中における二軸二舵高速瘦せ型船の操縦  
運動とその制御, 日本船舶海洋工学会論文集  
, 4, 155-164, 2007, 有

[産業財産権]

○ 出願状況 (計 1 件)

名称: 転覆及び大傾斜の防止手段を有する  
船舶

発明者: 橋本博公、松田秋彦

権利者: 独立行政法人水産総合研究センター,  
国立大学法人大阪大学

種類: 特許

番号: 2007-81081,

取得年月日: 2007 年 3 月

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

本研究の成果のうち 2008 年 3 月までの部分  
の主要部は、日本船舶海洋工学会 SCAPE 研究  
委員会の最終報告書 (研究代表者が委員長で、  
研究分担者と連携研究者などが委員) として、  
以下のホームページで公開されています。

[http://www.jasnaoe.or.jp/en/research/re  
port.html](http://www.jasnaoe.or.jp/en/research/report.html)

そして、世界の船舶海洋工学会の代表権をも  
つ英国造船学会 RINA より国際海事機関(IMO)  
に、

Research outcomes for new generation  
intact stability criteria, Submitted by  
RINA, SLF51/INF.6, IMO (London), 2008.

として、その紹介が行われました。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

梅田 直哉 (UMEDA NAOYA)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 20314370

### (2) 研究分担者

橋本 博公 (HASHIMOTO HIROTADA)

大阪大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 30397731

池田 良穂 (IKEDA YOSHIHO)

大阪府立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 10117989

### (3) 連携研究者

松田 秋彦 (MATSUDA AKIHIKO)

独立行政法人水産総合研究センター・水産

工学研究所・室長

研究者番号: 10344334

石田 茂資 (ISHIDA SHIGESUKE)

独立行政法人海上技術安全研究所・海洋  
部門・グループ長

研究者番号: 30360712

小木曾 望 (KOGISO NOZOMU)

大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 70295715

### (4) 研究協力者

牧 敦生 (MAKI ATSUO)

大阪大学・大学院工学研究科・博士後期  
課程学生

坂本 玄太 (SAKAMOTO GENTA)

大阪大学・大学院工学研究科・博士前期課  
程学生

首藤 雅和 (SHUTO MASAKAZU)

大阪大学・大学院工学研究科・博士前期課  
程学生

峯垣 庄平 (MINEGAKI SHOHEI)

大阪大学・大学院工学研究科・博士前期課  
程学生

上田 純平 (UEDA JYUNPEI)

大阪大学・大学院工学研究科・博士前期課  
程学生

古賀 定治 (KOGA SADA HARU)

大阪大学・大学院工学研究科・博士前期課  
程学生

中村 真也 (NAKAMURA SHINYA)

大阪大学・大学院工学研究科・博士前期課  
程学生

塚本 泉 (TSUKAMOTO IZUMI)

大阪大学・大学院工学研究科・博士前期課  
程学生

前田 恵里 (MAEDA ERI)

大阪大学・大学院工学研究科・博士前期課  
程学生

荒木 元輝 (ARAKI MOTOKI)

大阪大学・大学院工学研究科・博士前期課  
程学生

斎藤 直宏 (SAITO NAOHIRO)

大阪大学・大学院工学研究科・博士前期課  
程学生

山村 真也 (YAMAMURA SHINYA)

大阪大学・大学院工学研究科・博士前期課  
程学生