

船・海はまだ面白い！

2011年9月
日本船舶海洋工学会 夏の学校

横浜国立大学名誉教授(2011年4月より)
平山次清

1

内容(1)

- 0. 人生は寄り道そのもの
—どうせなら興味を持って面白い寄り道を！—
- 1. 略歴
- 2. 水波との出会い
- 3. 横浜国大へ赴任(1974. 4)
- 4. 新水槽建設の2年間とその後
- 5. 気まぐれな波の世界へ
- 6. 海洋波の再現・計測技術・利用技術の開発
(実験室用)

2

内容(2)

- 7. 実態を知るために海洋波浪の計測(海へ)
- 8. 海の中へ、海の上へ:空間の活用!
- 9. 安心安全な船舶を!
- 10. 技術史も重要(温故知新)
(私の場合は特に波浪海事史に興味あり)
- 11. 終りに当たってもう一度

(最後に、柏木先生とグループに深謝)

3

0. 人生は寄り道そのもの —どうせなら興味を持って面白い寄り道を！—

- 生物は束の間の寄り道をしているに過ぎない。土から生まれ土にもどる。
- 寄り道たる人生は動的平衡そのもの(分子生物学者:福岡伸一)⇒孤立波の様なもの(平山)!
⇒従って日々新た!
- 私の主たる寄り道は⇒研究
- 何故研究するのか?
⇒面白いから研究する!
- 興味(疑問・好奇心)を持て!
⇒興味を持てば何でも面白くなる!

面白さを紹介したい!

4

1. 略歴

- 横浜生まれだが引っ越し12回経験(葛飾北斎は93回!)
- 少年時代
山梨県甲府市(小3年夏まで)
滋賀県大津市(小3夏転校・中学校・高等学校)
- 大学時代
生まれた横浜市へ(横浜国立大学、造船工学科)
- 大学院時代((修士)横浜国大、(博士)東大)
- 大学勤務時代
横浜国大、この3月末リタイア、37年間勤務

5

大学2年生の夏

- 水面効果翼双胴船(エンジンプロペラ駆動)を自作、
実家(大津)近くの農業用水池にて実験(写真)
(近代的な双胴船は20世紀の初めにすでに建造実績あり)

高速輸送システムとしてハイブリッド(船+航空機)に興味があった!

6

大学2年 夏休み(大津にて)



7

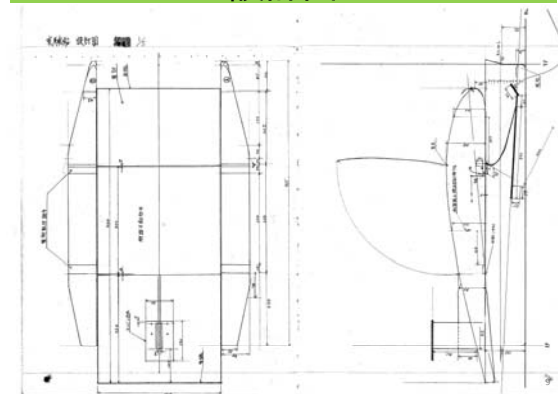
水面効果翼浮上型 高速双胴船



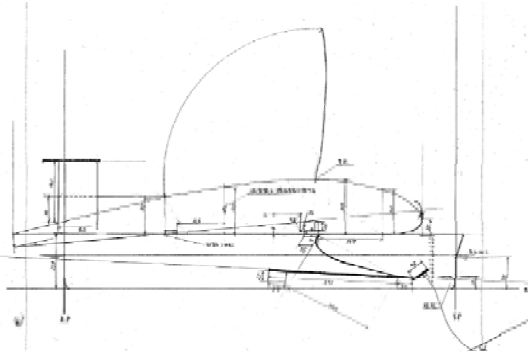
迎角可変

浮上量自記記録装置内蔵

設計図

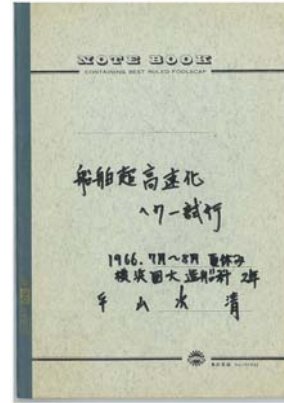


設計図(側面図)



10

実験ノート(大学 2年)



11

空中プロペラによる自航



12

実験した池(現在、大津)



13

45年後に水面効果翼船(WISES)の実験を実施することになった



14

大学3年の秋(大学祭にて)

船の実験がしたかった！
⇒実験水槽を製作した！

造波して横揺れ実験を見せた！
(解説の冊子も配布)

15

作製した造波実験水槽(大学祭,3年)



外寸
L*B*D
=8m*0.818m*0.65m

16

造波実験水槽(大学祭、3年)



17

大学祭から8年後に水槽建設に携わるようになった！(後出)



2. 水波との出会い

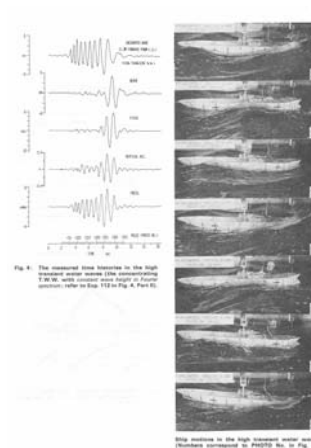
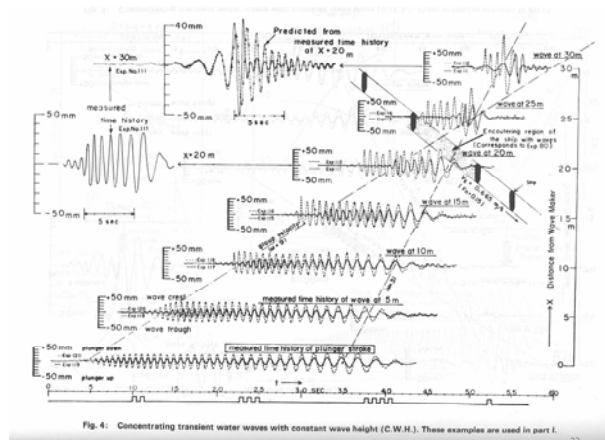
- 大学祭で**造波実験**
- 卒業研究
 - ⇒アンチローリングタンクに発生する
浅水波の特性と圧力
 - ⇒非線形特性も含めてかなり波に興味！
- 修士論文研究
 - ⇒**過渡水波**の任意制御
- 博士論文研究
 - ⇒**過渡水波**の非線形特性
 - ⇒フリーク波と関係あり

過渡水波

Davis & Zarnickがあきらめたものを故竹澤誠二教授(横浜国大)が実用化まで高めた

- ⇒連続的な周波数応答関数(運動/波高、波力/波高)が1回のテストで求められる
 - ←航走中でもOK
- ⇒一発大波(フリーク波)
 - ⇒集中波の再現も可能
- ⇒自己相関関数は集中波に他ならない!

過渡水波の性質と制御(12回ONRシンポジウム論文、1976)



集中過渡水波に
出会った船の運動
(時系列と写真)

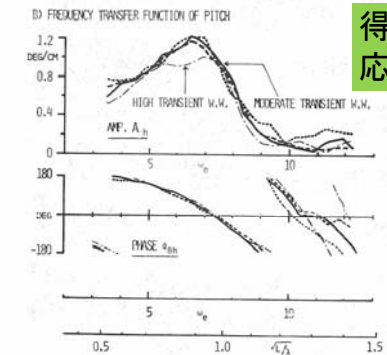


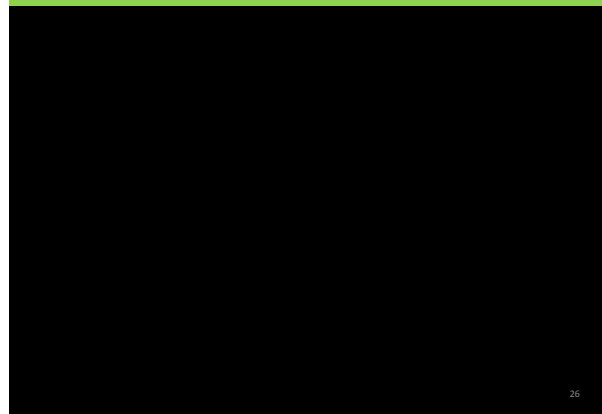
Fig. 5: Linearity and non-linearity of ship motions in various transient water waves.

得られた
応答関数

最近の実験 過渡水波中WISES



過渡水波中 WISES 実験



博士論文
「過渡水波の非線形特性」

- ・過渡水波グループの衝突と追い越し時の非線形相互作用問題に**挑戦**
 - ⇒当時**規則波の不安定現象**が話題となっており、そこで提案された平均ラグランアン法を応用、2つの過渡水波グループ間の相互作用を表す支配方程式を摂動法により求め数値計算結果と水槽実験結果との比較を行った
 - ・一**発大波**、**フリーク波**の発生説明にも使える
- 完全に波にのめり込んだ！**

波群の相互作用

3 狭帯域通過水波間の相互作用

異った波数ベクトルを有する定常波間の相互作用に関しては、Phillips¹³⁾等の研究があるが、前述した様な波群間の相互作用については知られていない。ここでは、波群の相互作用を考察する為に、所謂“Whithamの変分原理”を拡張した形で使用する。従ってまず、水波に於ける変分原理から述べる。座標系はFig. 6に示す。

3.1 水波に於ける変分原理

流体運動の圧力方程式と等価な変分原理は古くから知られているわけであるが、境界条件も含めて等価である事は確認されていなかった。Luke⁹⁾は後に述べる Whitham の方法と関連して、汎函数として、運動エネルギーマイナスポテンシャルエネルギーではなく、圧力をとれば、それが水波に於ける微分原理と等価である事を示した。即ち、非回転運動の場合は速度ポテンシャル $\phi(x, y, t)$ を導入すれば、変分原理は

$$\delta J = \delta \int_{t_1}^{t_2} \int_{x_1}^{x_2} L dx dt = 0 \quad (1)$$

と表現される。但し

$$L = \int_0^{\eta(x,t)} P dy \quad (2)$$

$$-P/\rho = \phi_t + (grad \phi)^2/2 + gy \quad (3)$$

28

支配方程式の導出(2つの波群の場合)

(18)の(1),(2)の部分に相互作用に関する項であって水波が無限大の場合は、(17-1)より有限水深の場合の非線形成分が得られる。

$$a_1 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{2} (a_{11} + a_{12} + \frac{1}{2} a_{13}) + \frac{1}{2} (a_{14} + a_{15} + \frac{1}{2} a_{16}) + \frac{1}{2} (a_{17} + a_{18} + \frac{1}{2} a_{19}) \right\} + O(4) \quad (22)$$

但し a_1 は a_1 に対応する。 a_1 について a_1 を用いて a_1 を入れた同様の式が成立する。ここで

$$R_{11} = \frac{1}{2} \frac{h_1 h_2}{2 \omega_1 \omega_2} \cos^2(\theta_1 + \theta_2), \quad P_1 = \frac{(1 - T_1)^2}{2 \omega_1 (1 + T_1^2)} + \frac{(1 - T_2)^2}{2 \omega_2 (1 + T_2^2)}, \quad S_1 = \frac{T_1 T_2}{T_1 + T_2} \frac{h_1 h_2}{T_1 T_2} \quad (23)$$

である。無限大水深の場合の位相速度は

$$C_1 = \frac{\omega_1}{k_1} = C_0 \left[1 + \frac{1}{2} \frac{h_1^2}{g} E_1 + \frac{1}{2} \frac{(h_1 + h_2)^2}{g} E_2 \right] = C_0 \left[1 + \frac{1}{2} \frac{(h_1)^2}{g} E_1 + \frac{1}{2} \frac{(h_1 + h_2)^2}{g} E_2 \right] \quad (24)$$

となり第2波群の存在により位相速度が増大する事がわかる。更に無限大水深の場合について(17)に相当するオイラーの方程式を求めれば、第1波群に関して

$$\frac{\partial h_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\omega_1 \left(1 + \frac{h_1^2}{2g} \right) E_1 + \frac{1}{2} \frac{(h_1 + h_2)^2}{g} E_2 \right) = 0 \quad (25)$$

$$\frac{\partial h_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (C_1 h_1 E_1) = 0 \quad (26)$$

を得る。第2波群についても同様の式が成立する。但し

$$a_2 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{2} (a_{21} + a_{22} + \frac{1}{2} a_{23}) + \frac{1}{2} (a_{24} + a_{25} + \frac{1}{2} a_{26}) + \frac{1}{2} (a_{27} + a_{28} + \frac{1}{2} a_{29}) \right\} \quad (27-1,2,3)$$

であってこの符号は a_2 に対応する (Fig. 6 参照)。 (25), (26) が、パラメーターがゆるやかに変化する2つの波群の相互作用をも含めた非線形現象に関する支配方程式であって、これを解く事により包絡線及び波数の時間的変化が明らかとなる。

4 数値計算

前節に於て波群の支配方程式が得られたので、具体的な波群について数値計算を試みる。無限大水深に対する

29

結果の例

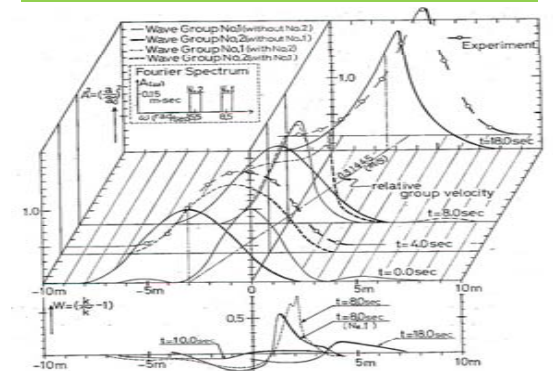


Fig. 7 波群の包絡線及び波数分布の時間的変化

30

規則波の限界波形

31

限界を超えた波 九十九里海岸にて (浅水)



32

絵画に描かれた2つの限界波形(波と富士山)



北斎 富嶽36景より「神奈川沖浪裏」 北斎は隠密だった？

33

限界波形は120度 (深水)

14-50] THE LIMITING FORM OF A PROGRESSIVE WAVE AT THE CREST 405

14-50. The limiting form of a progressive wave at the crest. It is well established by observation that the limiting form at the crest of a progressive wave is a sharp point with two distinct tangents. The wave is then about to break at the crest. At such a point the velocity of the fluid relative to axes moving with the wave is necessarily zero, otherwise there would be infinite acceleration. Taking then axes moving with the wave, the x-axis opposite to the direction of propagation, the y-axis vertically downwards and the origin at the crest we shall have steady motion.

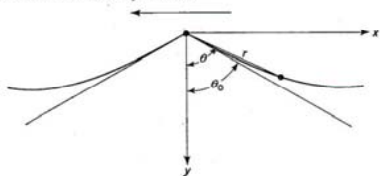
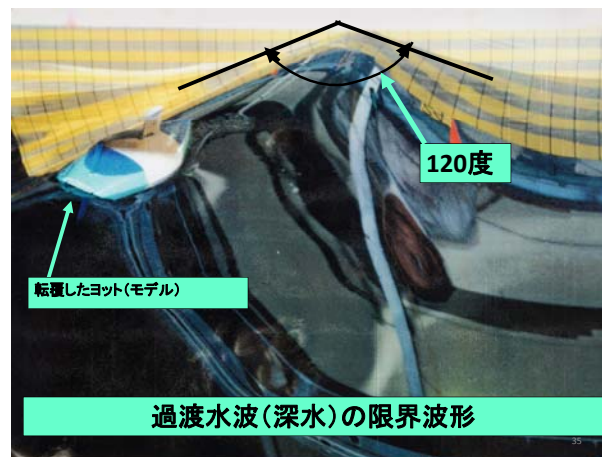


FIG. 14-50.

34



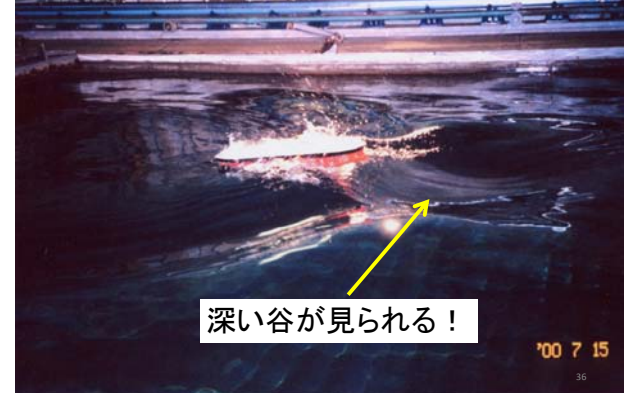
120度

転覆したヨット(モデル)

過渡水波(深水)の限界波形

35

限界三角波(集中過渡方向波)に出会ったタンカー(モデル)



深い谷が見られる！

'00 7 15

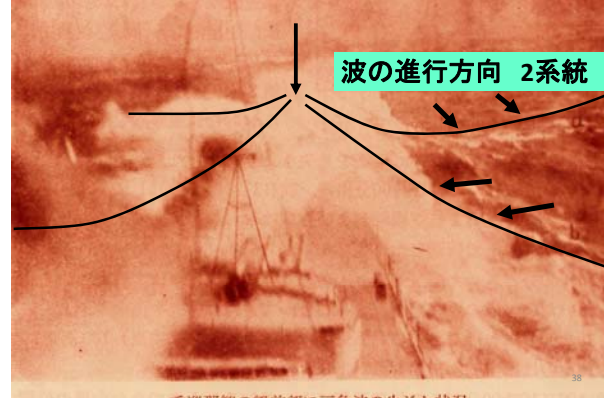
36

拡大



37

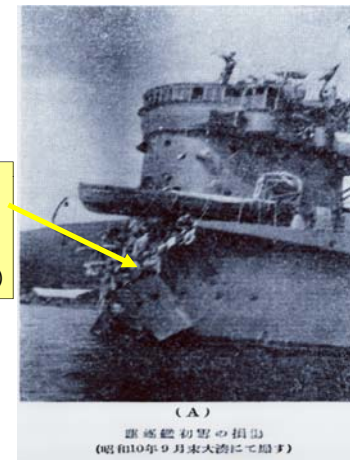
発生した三角波との遭遇(1935年9月26日)



波の進行方向 2系統

38

第4艦隊事件
(1935年)



折損
箇所
(初雪)

(A)
運送艦初雪の損傷
(昭和10年9月末大津にて撮影)

39

今後、地球温暖化に伴う波浪影響
増大が考えられる！



最適化による構造強度の限界設計
を目指す方向となっているが**外的限
界自体が変わりつつあるので注意
が必要！** 洋上風力発電も！
(温故知新)

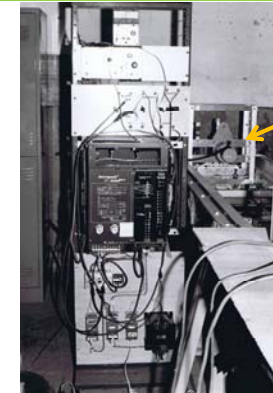
40

3. 横浜国大へ赴任(1974. 4)

- 国立研究所を希望したが、
大学からお呼びがかかる
- 1974(昭和49年)4月着任
⇒ 船体運動学講座
- 講義担当: 船舶算法、振動論、
その後 海洋波論、浮体運動学、
操縦制御論、波浪中性性能論

41

着任して最初に作製した小水槽



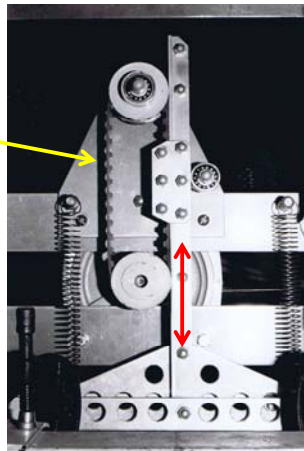
造波機
駆動部
サーボモータ
使用

42

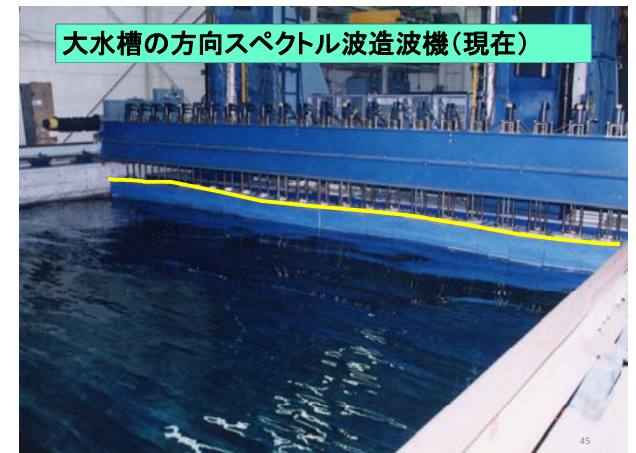
35年後(現在)の状況



プランジャー式
造波機駆動部
タイミングベルト
方式



大水槽の方向スペクトル波造波機(現在)



45



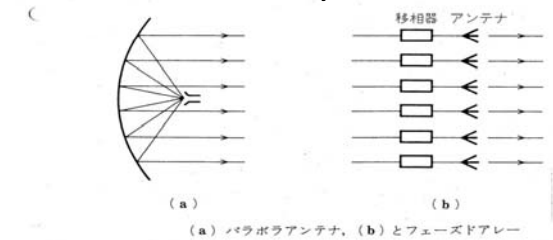
造波機、従って船体運動も、 アンテナと同じで面白い！

- ・一体型造波機
⇒ライン・アンテナと同じ
- ・方向スペクトル波造波機
⇒フェーズド・アレイ・アンテナと同じ
⇒アンテナ理論の結果が援用できる
- ・コチン関数はアンテナの指向特性に相当する
(水波工学入門(別所正利)参照)

47

フェーズド・アレイ・アンテナ

Phased array antenna



48

巨大フェーズド・アレイ・アンテナ



49

方向スペクトル波応用 実績(1)

1. 方向スペクトル波の造波・計測(レーザー波面計(竹澤))・解析法(最尤法など)
2. 集中三角波の造波法(シミュレーションにより確認)
3. 方向スペクトル波中航走時の周波数応答関数の確認と逆推定(船舶・海洋構造物(係留時))

50

方向スペクトル波応用 実績(2)

4. 方向スペクトル波中の抵抗増加(セミサブ漂流力も)と応答関数の理論計算確認および逆推定
(抵抗増加は横浜国大の丸尾孟教授がはじめて理論的な統一解釈を与えた)
5. 方向スペクトル波中の船速低下(シミュレーションも)
6. 方向スペクトル波中の操縦性能・指数変化(シミュレーション併用)
(詳細は学会論文参照)

51

一点集中過渡水波(20年前完成)



52

着任して最初の講義
は船舶算法・浮体静力学

浮力は簡単に思えるが
意外に奥が深く面白い！

53

おもしろ船教室(1998年7月31日)



54

おもしろ船教室(2009年)



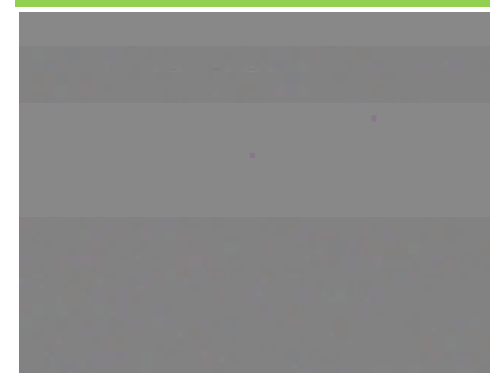
55

浮力や波の実験



56

浮力の本質を考える 実験



57

浮力は加速度による圧力勾配が元！

- 重力の加速度と反対方向に働く
- 流体粒子運動の加速度の方向に働く
⇒モリソンの式 (U=流体水平速度)

$$F = \rho * C_M * dU/dt * S * dz + (1/2) \rho * C_d * U^2 * |U| * D * dz$$

質量力係数 $C_M = 2$ (円柱の場合)
= 付加質量係数 + 浮力係数

- 波の峰では下向き、谷では上向きの浮力(静的浮力からの変化分)が働く

58

4. 新水槽建設の2年間とその後

- 赴任時に描いた**将来計画**(水波の非線形相互作用の発展)も新水槽建設従事で**雲散霧消**に！
- 得難い経験と思い**興味をもって**やった⇒建設計画と決定、業者との折衝(**竹澤教授**は世界漫遊？(1976.3-1977.2)にて不在)

59

1976年(建屋建設中)



安川電機(北九州)での台車検査



77 3 2



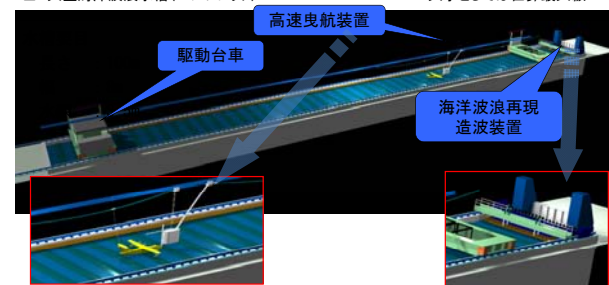
62

現状

曳航台車・方向スペクトル波造波機(海洋波浪再現水槽と呼んでいる)以外に

高速曳航装置追加
(高速艇、飛行艇、ディッチング試験など)

■ 大型海洋波浪水槽(パンフレット) 大学としては世界最大級！！



建物の中に2800トンもの水をたたえた曳航水槽がある。1/100位の模型を曳航し、働く力、運動を正確に計測することにより実際の船の性能も推定できるメカテクノロジーの開発に威力を発揮する。また実際の海洋の性質を持つ人工波を発生出来る装置(世界初)もあり、未知の現象を捉えることも出来る。

63

5. 気まぐれな波の世界へ

- 船にとっては**海洋波**が最重要
- 海洋波は風で生ずる←風は気圧のアンバランスで生ずる←太陽熱、地球の自転、公転 etc.⇒渦、**基本的に不規則**
- **風(男性名詞)と波(女性名詞)**
は男と女の関係！
- 風・波は気まぐれ⇒**確率論**の世界
ラテン系の世界！面白い！

64

海洋波の特性の表現

- 中心極限定理
⇒合成するとなんでもガウス分布になる
⇒面白い！有用！
- “**ライス**の雑音理論”を海洋波に適用
(**ロンゲット・ヒギンス**)
⇒包絡線の振幅変化
⇒波高は**レイレイ分布**

65

海洋波の予測

- 気象が勝敗を左右する⇒予測が重要
- **近代的海洋波予測法**はノルマンディー上陸作戦時(1944年6月6日)より⇒日本は開発できていなかった
- 現在は数値**波浪**予測法(第三世代、但し代表値のみ)←風の予測←天気予測
- 出会い**波浪**(個別波)予測←**レーダー**による計測による(研究室にて開発した技術を企業に移転中)
- 長期予測(福田法、極値統計理論、**設計波**)

66

6. 海洋波の再現・計測技術・利用技術の開発(実験室用)

- **竹澤式造波機(世界初)**の設計および制作
- 長水槽での方向スペクトル**波**発生へ(長水槽では**世界初**)
方向スペクトル**波**中の諸問題検討
⇒船体・海洋構造物の運動、
波浪中抵抗増加、波浪中操縦性能
、殆どの課題に手をつけた！(既述)
- **竹澤式レーザー波浪計(世界初)**
- 船体の方向波浪ブイ化(南君ほかの博士研究)⁶⁷

横国大提案浮体式空港の弾性模型実験



通常の船でも弾性振動は発生するが周波数が高い。一方長大浮体は弾性影響が無視出来ない。横浜国大では**リペアーし易い**セミサブ型の浮体空港の提案を行っている。この浮体モデルについて、波浪中での弾性挙動を多方向造波装置を駆使して調べ、理論計算の精度もチェックした。

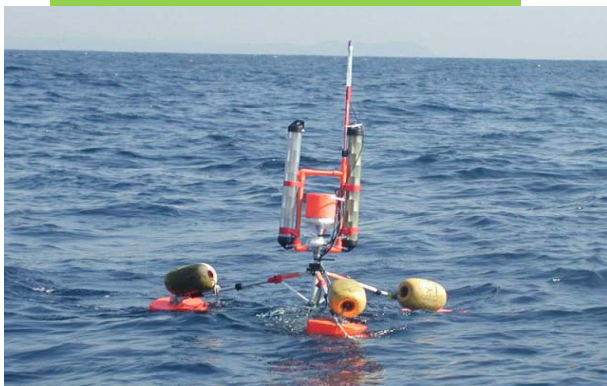
(馬君らの博士研究として)

69

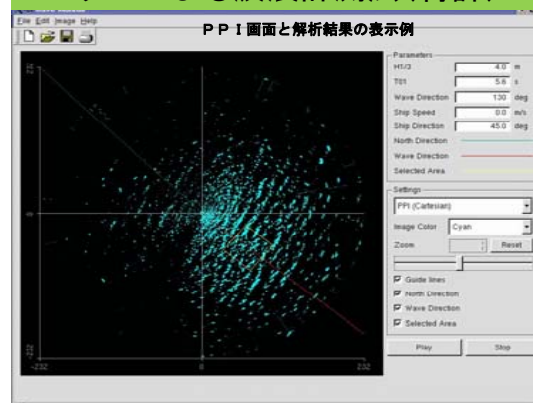
7. 実態を知るために海洋波浪の計測(海へ)

- 海に出て実際の波浪を知ることが重要
- 国大式方向波浪ブイの開発(**特許**)
- 船体運動より方向波スペクトルの推定
- 国大式波浪レーダーの開発(**特許**)

超小型方向波浪ブイ(特許)



レーダーによる波浪計測法(特許)



71

波浪レーダー研究に使用した船



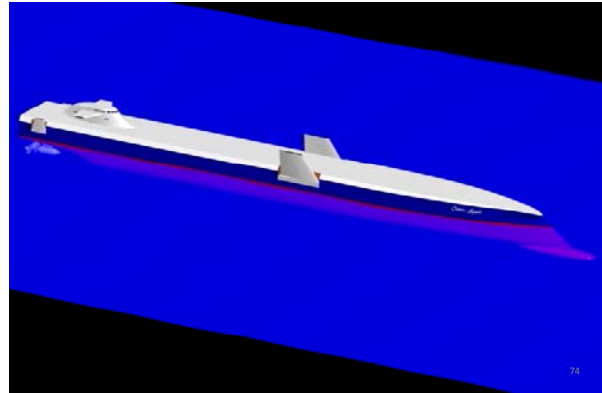
72

8. 海の中へ、海の上へ:空間の活用！

- ・水上船舶を**水中**飛行させる⇒SSS(可潜船舶)
- ・水上船舶を**水上**飛行させる⇒飛行艇、WISES
- ・水中船舶を**空中**飛行させる⇒飛行船

73

SSS(可潜船舶)イメージ(平川 作成)



74

SSSの可能性実証(実験)



SSSと関連して、 今後の我が国の海洋資源開発

- ・ブラジルの海底石油開発は益々沖合・大水深に移っている
 ↳海洋環境が比較的穏やかだから可能
- ・毎年**台風**に襲われる日本
 →海洋開発のための施設は**回避**行動可能な型か**潜水**状態あるいは**潜水可能な**デザインとせざるを得ないと考えられる

76

SSSを利用した海流発電



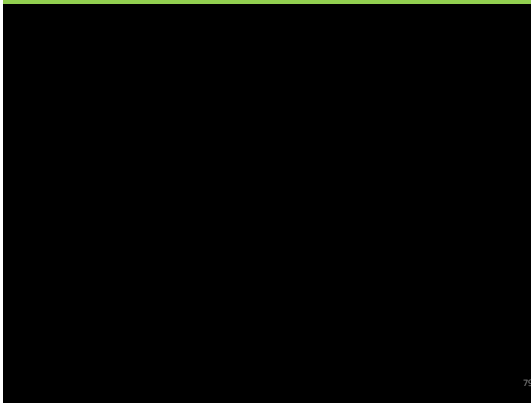
77

EEZ活用のための飛行艇の研究

着水実験
 <波浪中>
 $\lambda/L=1.0$
 $H_m=7.3cm$

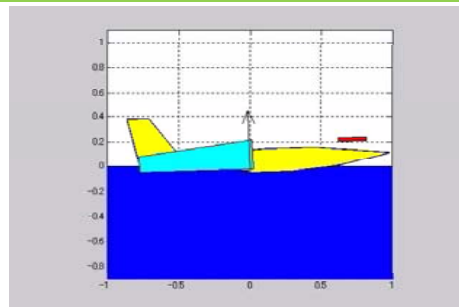
78

高速輸送のためのWISESの研究



79

数値シミュレーション(ポーポイズ)



天谷君の博士研究として

80

高速曳航システム(特許)

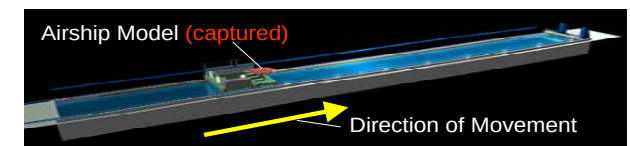


Fig. 3 Towing tank and Experimental apparatus

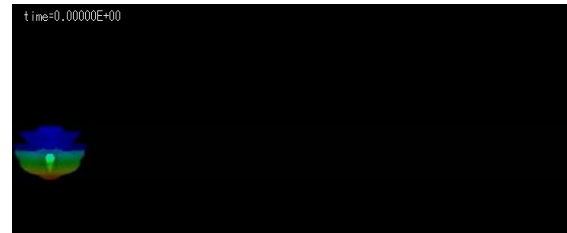
81

9. 安心安全な船舶を！

- 本人が“船に弱い”ことが原点！
- 卒業研究のアンチローリングタンクも背景に
- 横揺れの研究(特にSRで)
 - 過渡応答法による**横揺れ減衰係数**推定、
 - 過渡水波中での**転覆メカニズム**研究
 - 転覆確率**計算の提案
- 酔わない船を！: 新形式アンチローリングシステム
開発(特許)—**柿添**氏の博士論文として結実
- 高速航走中船舶からの搭載船降下揚収法**開発(米国特許取得)**—**平川**君の博士論文として結実
- 小型船舶の事故などの鑑定引き受け(3件)

82

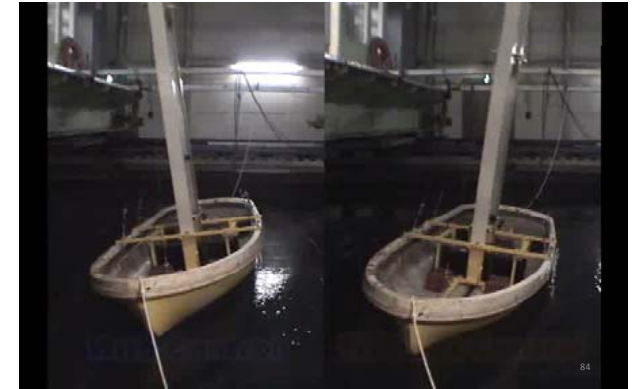
波浪中転覆のシミュレーション例



西村君の博士研究

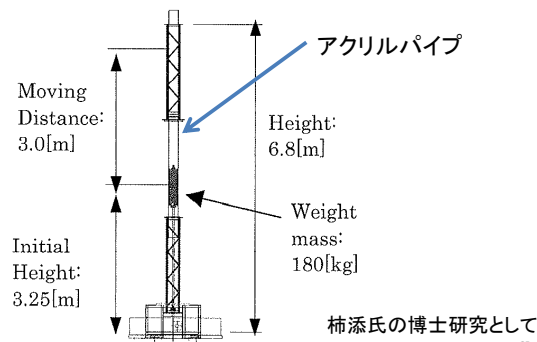
83

VWS(錘上下移動型横揺れ抑制システム)



84

VWS(プロトタイプ実機)の構造



85

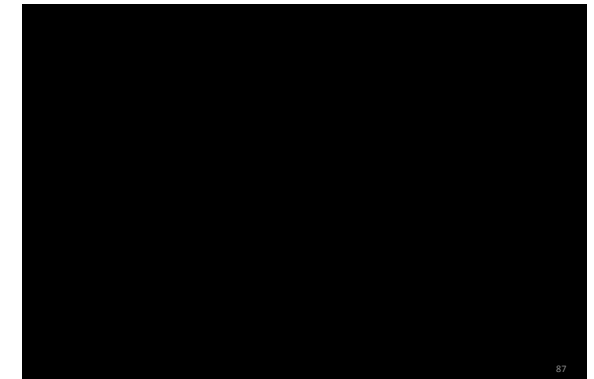
VWS 陸上試験での確認

アクリルパイプ
組み立て中



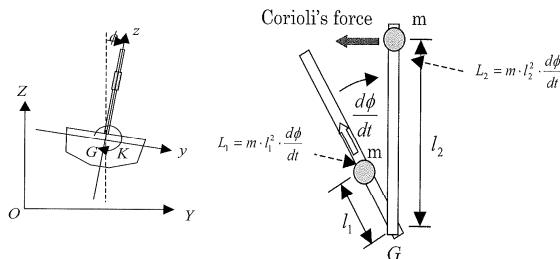
86

VWS 実験(横浜港 沖)



87

VWSの原理



88

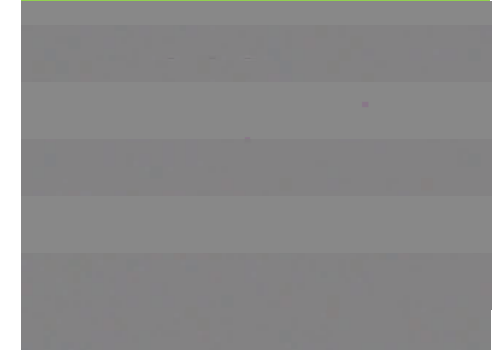
VWSの原理

コリオリ力を含んだ強制横揺れの運動方程式は、

$$\left\{ I_{xx} + J_{xx} + I_{xxS} + \Delta I_{xx}(t) \right\} \frac{d^2 \phi}{dt^2} + \left\{ \frac{d(\Delta I_{xx}(t))}{dt} + k(t) \right\} \cdot \frac{d\phi}{dt} + (W + m_s \cdot g + m \cdot g) \cdot \{ GM - GG'(t) \} \cdot \phi = M(t)$$

89

実験(浮力の本質を考える) コリオリ力もある！



90

救命艇の迅速な降下揚収システム



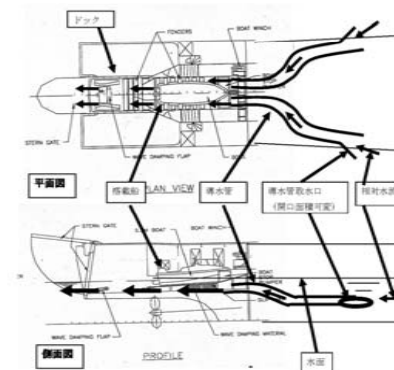
91

搭載艇の船尾揚収調査(釧路にて)



92

導水管方式



93

船側の取水口(動圧利用)



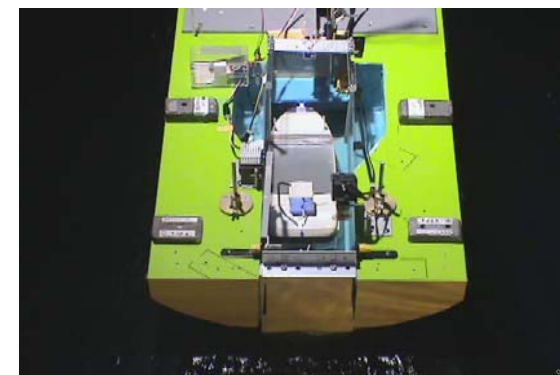
94

搭載艇の船尾揚収新システム(国際特許)



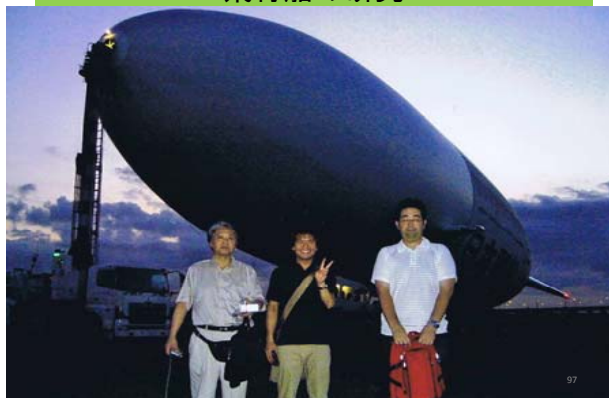
平川君の博士研究として

模型試験: 搭載艇の船尾揚収新システム



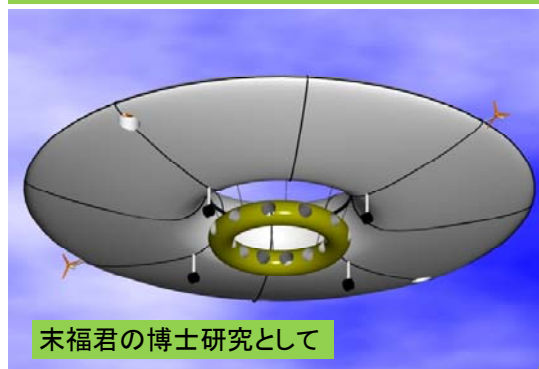
95

飛行船の研究



97

新形式飛行船の提案(係留面積最小型)



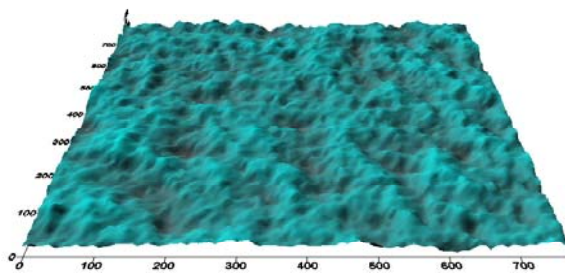
末福君の博士研究として

10. 技術史も重要(温故知新) (私の場合は特に波浪海事史に興味あり)

- ・葛飾北斎と波(波と富士の限界美が共通点(平山の解釈))
- ・第4艦隊事件における巨大三角波
→異常波(一発大波(フリーク波など)の発生条件
- ・日本海海戦時の波浪と勝敗の関係
- ・長浜千軒(横浜市金沢区)の言い伝え(一夜にして海岸の村(鎌倉時代)が流された)の津波または波浪高潮の可能性の検討

99

Simulation of Ocean Surface Map
Two-Peaks Spectrum – 3D View



デニス君の博士研究として

100

船・海にまつわる温故知新 ⇒海事技術史研究会にて発表

- ・横揺れ抑制法(ビルジキールの始め)
- ・友鶴転覆事件
- ・戦時レーダー開発の実態
- ・模型試験の最初
- ・世界的高速曳航水槽
- ・ゴンドラ(ベネチア)の背骨が曲がった理由
- ・櫓漕の歴史と新漕法の発見(櫓・ボットによる再現)

101

櫓・ボット(GAによる新漕法発見)



102

アイデアの実績

- ・自分自身:特許申請12件(内登録6件)
- ・印象に残っているアイデア:多数あるが、
(1)竹澤先生の10大発明(猛語録参照)
(2)模型船の強制ロール試験法
非常にスマートで精度高い!

(山内・菅井論文)

103

(山内・菅井論文)

(昭和38年11月造船協会秋季講演会において講演)

強制動揺法による船の横揺特性の研究

正員 菅井和夫*

正員 山内保文*

A Study on the Rolling Characteristics of Ship
by a Forced Oscillation Model Experiment

By Kazuo Sugai, Member
Yasufumi Yamanouchi, Member

Summary

104

強制動揺法による船の横揺特性の研究

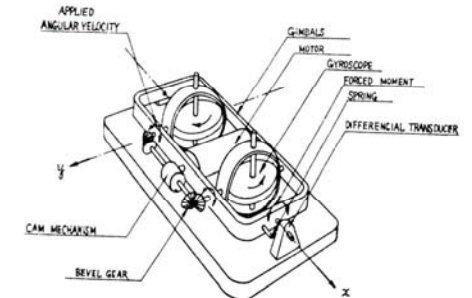
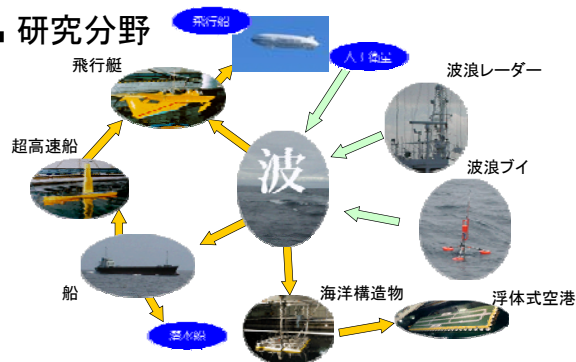


Fig. 2 Schema of Gyroscopic Forced Oscillation Generator

105

研究分野



海・船は面白い話に満ちている!

106

11. 終りに当たってもう一度

人生は寄り道そのもの

一どうせなら多方面に興味を持って、
面白い寄り道を!一

107

最後に、柏木先生とグループに深謝

造船界では、以前はSR(造船研究協会)による研究プロジェクトという、大家に混じって小家も参加し、丁々発止の議論の場があったが今は無いのは残念。

趣旨はSRとは異なるが造船界のために“夏の学校”という場を用意していただき感謝したい。こういった機会を活用しお互いを知り議論がなされることを期待します。

108