

物理海洋学

第 3 卷

(日) 永田 丰 彦坂繁雄 宫崎正卫 著



科学出版社

物 理 海 洋 学

第 3 卷

〔日〕永田 丰 彦坂繁雄 宫崎正卫 著

鲁守范 译

王德文 刘玉林 校

科 学 出 版 社

1 9 8 5

内 容 简 介

本书内容包括三个部分。第一部分是海浪,介绍了各种类型海浪的生成和发展,并对各种理论作了比较,最后介绍了海浪的预报和今后需解决的问题。第二部分是潮汐现象,对平衡潮理论、潮汐动力学理论以及海水水平方向的周期性运动和各种基准面及影响基准面的因素均有论述。第三部分为风暴潮及海啸,详细而又全面地总结了侵袭日本及世界其他地区的、有记载的海啸和风暴潮,并介绍了其产生的理论和预报等问题。

本书可供大专院校有关专业的师生及从事海洋研究的有关人员阅读,亦可供从事海洋水文预报及港工建筑设计的人员参考。

海洋科学基础讲座 3

永田 豊 彦坂繁雄 宫崎正衛 著

海 洋 物 理 III

東海大学出版会, 1970

物 理 海 洋 学

第 3 卷

[日] 永田 豊 彦坂繁雄 宫崎正卫 著

魯守范 译

王德文 刘玉林 校

责任编辑: 赵徐懿 谭卫翥

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1985年2月第一版 开本: 787×1092 1/32

1985年2月第一次印刷 印张: 11 1/8

印数: 0001—1,250 字数: 250,000

统一书号: 13031·2820

本社书号: 3947·13—17

定价: 2.60 元

译 者 的 话

本书为日本东海大学出版委员会编辑的海洋科学基础讲座第3卷,也即《物理海洋学》(原文为《海洋物理》)之三。

本书所述内容为物理海洋学的重要组成部分——海洋中的动能。作者较系统地搜集和介绍了有关动力海洋学方面的资料及理论研究成果。在第一编中,作者从海浪的经典理论着手,直到波谱理论的出现,作了深入浅出的介绍。由于海浪学在物理海洋学中是一门比较难于了解和掌握的学科,所以作者根据自己多年从事教学的经验,对于那些认为学起来可能会感到困难的问题作了重点阐述,避免了单纯地以数学方式去解释波浪现象。例如,对波浪学中经常使用的随机过程的基本概念作了介绍。至于对波浪的表达方式则尽力阐明通常为我们所使用的波谱的意义。书中对于沿岸波浪的一些问题没有涉及。再有,关于波浪衰减的问题,波与波的相互作用或波与海流、湍流的相互作用等问题也只作了适当的介绍。

本书中的第二编为海水的周期性运动。在对潮汐及潮汐现象作了简述后,又对平衡潮的理论及应用、潮汐动力学理论以及海水水平方向的周期性运动——潮流及其预报等问题、各种基准面及影响基准面的因素等均有论述。

日本为一周围环海的岛国。海啸及风暴潮与日本的关系极为密切。所以本书在第三编中较详细地全面总结了侵袭日本及世界其他地区的、有记载的海啸及风暴潮。并介绍了海啸和风暴潮产生的理论和预报等问题。

本书内容及记述实例虽较广泛,但也许是由于作者编辑

讲座的目的之缘故,所以对本书所论之学科仍不能囊括全部,同时,书中所涉及问题的讨论深度尚感不足。尽管如此,就动力海洋学作为研究、发展海洋学及海洋事业的先导科学这一意义而言,本书是达到了其目的的。

本书在翻译过程中曾得到国家海洋局第一海洋研究所吕常五同志和山东海洋学院刘安国同志的热情帮助,中国科学院海洋研究所管秉贤同志和国家海洋局第一海洋研究所黄培基同志审阅了译文,提出了不少宝贵意见,在此一并致谢。由于译者水平所限,书中错误和不当之处在所难免,恳请读者不吝指正,深致谢意。

一九八一年三月于青岛

序 言

当前开发海洋的呼声响彻国内外。

海洋占据着地球面积的三分之二，蕴藏在海洋中的能源、食物资源、矿产资源的数量大得惊人。因而，为了人类的繁荣，呼吁向海洋进军实为十分正确的主张。尤以日本来讲，国土狭小，四面环海，海洋的开发利用更是个刻不容缓的问题。

资源开发、改造和利用自然，只有靠摸清大自然的规律，并巧妙地运用这一规律才能实现。开发海洋亦不例外。开发海洋的呼声越迫切，就越需要充实海洋学的基础知识。这便是筹办本讲座的首要宗旨。

在日本，近代海洋学问世以来已经过了约半个世纪之久。在这几十年的时间里，积累了大量的资料，日本关于海洋学的研究，在世界上已经达到了相当高的水平。然而，虽有颯田皖次先生本世纪二十年代著的《海洋科学》，及数位先辈写的海洋学教科书，却尚无一本总括取得了惊人进展的海洋学全貌的日文现代海洋学著作。筹办本讲座的另一个目的即在于此。

目前，海洋学的体系，还不能说已完全确立下来了。科学的许多领域都与海洋相关。所以，本讲座的章节结构中难免出现遗漏的地方及研讨粗细不周之处。此类问题我们希望能通过今后的增补修订逐步改进。

筹划出版本讲座是在1968年春。蒙许多读者期待本书出版，而刊行却很不及时，这都只能是编辑委员会的责任，在此谨表歉意。此次刊行之际，承蒙东海大学出版会加藤千曼树、中阵隆夫两氏不吝珠玉，惠以大力支援，谨此深致谢礼。

海洋科学基础讲座编委会

1970年8月15日

目 录

第一编 波 浪

永田 豊

第 1 章	前言	2
第 2 章	波浪的基本性质	5
2.1	基本方程式	5
2.2	无限小振幅波理论	7
2.3	海底地形引起的波浪折射	15
2.4	表面张力波	16
2.5	群速度	18
2.6	波的能量	21
第 3 章	有限振幅波理论	25
3.1	Gerstner 波	25
3.2	Stokes 波	29
3.3	Stokes 波的质量输送	38
3.4	Stokes 波的极限波高和碎波现象	41
3.5	Crapper 波	44
3.6	椭圆余弦波 (cnoidal wave)	47
3.7	孤立波 (solitary wave)	53
第 4 章	波浪的统计性质	57
4.1	海浪的复杂性	57
4.2	随机过程的概念	60
4.2.1	随机过程 (stochastic process)	60
4.2.2	平稳随机过程	62
4.2.3	各态历经性 (ergodicity)	63
4.3	波浪引起的海面升高的概率密度分布和 Gauss 分布	

的假设	65
4.3.1 Gauss 型随机过程	65
4.3.2 关于两三个波浪模型的概率密度分布	66
4.3.3 实际波浪的概率密度分布	69
4.4 平稳随机过程的数学表示与功率谱	71
4.4.1 平稳随机过程的数学表示	71
4.4.2 二维谱	75
4.4.3 二维谱和波向的测定法	78
4.5 波浪的统计性质与谱	86
4.5.1 有效波、波浪的等级	86
4.5.2 充分成长的波浪谱	89
第 5 章 波浪的发生与预报理论	92
5.1 Sverdrup 和 Munk 的理论	92
5.2 Pierson-Neumann 预报理论	95
5.3 Phillips 与 Miles 的波浪发生理论	98
5.4 波浪预报理论的最近动向	104
参考文献	107

第二编 潮 汐

彦坂繁雄

第 1 章 潮汐	112
1.1 潮汐现象	112
1.2 潮汐观测	113
第 2 章 平衡潮理论	116
2.1 引潮力与引潮势	116
2.2 平衡潮理论与平衡潮高	119
2.3 由平衡潮理论导出的几个结论	124
2.3.1 半日潮	124
2.3.2 全日潮	125
2.3.3 长周期潮	125
2.3.4 全日潮与半日潮的高潮时	125

2.3.5	日潮不等	126
2.4	平衡潮理论的订正	127
2.5	平衡潮潮高方程式的展开	128
2.6	浅水潮	131
2.7	气象潮	132
2.8	潮汐类型	132
第 3 章	潮汐的调和分析	135
3.1	调和常数	135
3.2	调和分析原理	138
3.3	调和分析	140
3.3.1	Darwin 分析方法	140
3.3.2	Doodson 分析方法	142
3.3.3	用图解作调和分析	150
3.3.4	用高、低潮潮高与时刻作调和分析	152
3.3.5	用最小二乘法作调和分析	152
3.3.6	Fourier 分析方法	153
第 4 章	潮流	156
4.1	潮流现象	156
4.2	潮流观测	158
4.3	潮流的调和分析	160
4.4	地形对潮流的影响	166
4.4.1	岛屿和岩礁的影响	167
4.4.2	特殊地形产生的片潮	169
第 5 章	动力学潮汐理论	172
5.1	考虑地球形状的大洋潮汐	172
5.1.1	Laplace 的理论	172
5.1.2	Hough 的理论	175
5.1.3	Goldsbrough 的理论	176
5.1.4	两条子午线所包围的纺锤形海区中的潮汐	177
5.1.5	Airy 的潮汐沟渠理论	178

5.2	忽略地球形状的有限海区的潮汐	180
5.2.1	有限海区的潮汐方程	180
5.2.2	沟渠中前进的自由长波	181
5.2.3	封闭海区中的自由振动: 静振	183
5.2.4	断面发生变化的有限海区中的静振理论	185
5.2.5	一端开放的海湾中的自由振动: 副振动	187
5.2.6	静振实例	189
5.2.7	海湾中的强迫振动: 潮汐	190
5.2.8	地球自转的影响	195
5.2.9	摩擦的影响	199
5.3	用差分法对潮汐问题作数值计算	206
5.3.1	用差分法处理作为边界值问题的潮汐	207
5.3.2	用差分法处理作为初始边界问题的潮汐	210
第 6 章	有潮河的潮汐	216
6.1	有潮河及其特性	216
6.2	涌潮	219
第 7 章	潮汐、潮流的预报	222
7.1	潮汐预报	222
7.1.1	非调和法 (non-harmonic method)	222
7.1.2	调和法 (harmonic method)	226
7.1.3	使用潮汐订正数的方法	228
7.1.4	响应法	229
7.2	潮流预报	230
7.3	潮汐图	232
7.3.1	等潮差图、同潮时图	233
7.3.2	海角和海湾附近的等潮差线和同潮时线 的变形	234
7.4	潮流图	239
第 8 章	内潮	240
8.1	内自由前进波	240

8.2 内假潮	244
第9章 各种基准面	247
9.1 平均海面	247
9.1.1 日平均海面	249
9.1.2 月平均海面	249
9.1.3 年平均海面	250
9.2 海图深度基准面	251
9.2.1 可能最低低潮面 (lowest possible low water)	252
9.2.2 平均大潮低低潮面 (mean lower spring low water)	252
9.2.3 印度洋平均大潮低潮面 (Indian spring low water)	252
9.2.4 平均大潮低潮面 (mean spring low water)	253
9.2.5 美国的海图基准面	253
9.3 平均海面的短期变动	253
9.3.1 气象要素的影响	253
9.3.2 海洋要素的影响	255
9.4 平均海面的长期变动	259
9.4.1 极潮汐	259
9.4.2 交点潮	259
9.4.3 地壳变动	260
9.4.4 海面升降变化	261
9.4.5 因流体力学效应引起的海面变动	261
参考文献	263

第三编 海啸与风暴潮

宫崎正衡

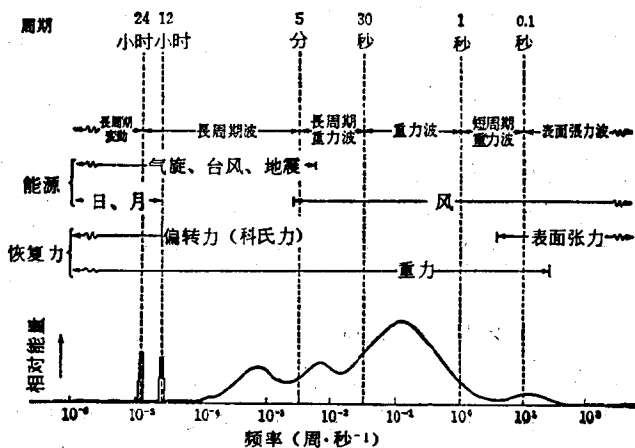
第1章 序论	272
1.1 海啸与风暴潮	272
1.2 历史上有记载的主要海啸	273
1.2.1 侵袭日本沿岸的主要地震海啸	273

1.2.2	世界的主要地震海啸	275
1.2.3	其他原因引起的海啸	276
1.3	历史上有记载的风暴潮	277
1.3.1	侵袭日本的主要风暴潮	277
1.3.2	世界的主要风暴潮	279
1.4	观测方法	281
1.4.1	仪器观测	281
1.4.2	实地调查	283
第2章	海啸	286
2.1	地震、地面变动与海啸	286
2.2	海啸发生的理论	288
2.2.1	海面受到局部冲击后产生的波动	288
2.2.2	海底扰动引起的波动	294
2.3	海啸的传播	297
2.3.1	传播图	297
2.3.2	传播中的各种现象——反射	298
2.3.3	绕射	302
2.4	大陆架及海湾内的海啸	302
2.4.1	大陆架的海啸	302
2.4.2	海湾内的海啸	306
2.5	频率与危险程度	309
2.6	海啸预报	312
第3章	风暴潮	316
3.1	一般性质	316
3.1.1	两种类型的风暴潮	316
3.1.2	风暴潮的高度	317
3.1.3	风暴潮的危险程度	318
3.1.4	风暴潮与灾害	320
3.2	大洋上的风暴潮	321
3.3	大陆架上和港湾中的风暴潮	323

3.3.1	基础方程与外力条件	323
3.3.2	大陆架上的风暴潮	325
3.3.3	港湾中的风暴潮	327
3.4	风暴潮的模拟	329
3.4.1	给定外力(气象条件)的方法	329
3.4.2	数值计算的方案	331
3.4.3	计算实例	335
3.5	风暴潮的预报	338
3.5.1	风暴潮的经验公式	339
3.5.2	动力学模型	341
参考文献		343

第一编 波 浪

永田 豊



海洋表面上波动能量的模型图

第 1 章 前 言

大概不会有人未见过波在水面上传播，也不会有人不知道风一吹过水面就会引起波。就“波浪”二字而言，在自然界的波动现象中，最初为人们所认识的就是水面的波。水面波的研究历史可以说就是流体力学的研究史，甚至可以追溯到更早的时代。尽管如此，从物理海洋学的观点出发，对实际海面上所发生的复杂波动现象开始正式的研究工作则是近代才开始的，可以说是在第二次世界大战以后发展起来的。而且直到目前为止，人们连能量是以怎样的机制由风传输给波浪这一最基本的问题，还不能说已经有了彻底的了解。因而可以说，甚至在物理海洋学中，波浪现象也是为人们所最不了解的领域之一。

虽然统称之为波浪，但其研究的内容却涉及到多方面，对波浪能进行全面研究的专家，不概可以说举世无有。对于著者来说，也没有能力写出一部囊括整个波浪问题概况的书。即使具有这种能力，从篇幅上来说也不是在这样的小册子里所能收容得了的。因此所要写的内容在这里不能不受到很大的限制。著者近几年来，在东京大学主要担任波浪学的讲课，觉得对学生来说波浪现象是个很难学、很难理解的问题。这可能是因为同物理海洋学和地球物理学的其他领域相比，海浪学是以极为特殊的方式发展起来的缘故。海浪动力学的第一个特点是，一方面因为只限于研究表面波，同研究内波和海流的问题不同，没有必要去讨论复杂的密度结构，因而也就不需要进行热力学的讨论，所以就可以选择明确的基础方程

式着手进行研究。另一方面,因为波陡的大小是有限度的,除了特殊问题之外,可以将波陡作为参数对方程式进行展开,并以逐步近似来处理非线性问题。因而波浪的非线性性质可作为弱相互作用理论 (theory of weak interaction) 的一个典型例证,并能进行极为系统的、或者是纯数学方式的研究,所以最近有关波浪的论文大多具有很强的数学性质,反而成了令人难懂的论文。本书对这样的问题因无暇进行过细的讨论,故在第二章中,引出了未加省略的基础方程式,从无限小振幅波的线性理论着手进行讨论,介绍波浪的各种基本性质。第三章中讨论了波陡限度,以作为波浪的非线性理论的一个有代表性的例子,此外还介绍了各种有限振幅波的理论。因为本书是一种讲座性质,在对波的质量输送这样一个重要现象进行说明的同时,重点介绍了对扰动法适用的具体例子。波浪动力学的另一个特点是,由于风引起的波浪是非常不规则的,因此原来在通讯理论领域中发展起来的随机过程理论对风浪却非常适用。这在某种意义上来说虽使问题简单化了,但由于在物理海洋学的其他领域中几乎未用过随机过程的概念,所以有时波浪问题会被看作是很难学的,连专门研究波浪学的人有时似乎也会出现若干概念上的混乱。因此本书拟在第四章中,对随机过程的基本概念加以说明。对波浪的表达方式,则尽力阐明通常使用的波谱的意义。在最后的第五章中,著者想介绍一下对近二十余年来波浪研究迅速发展有促进作用的波浪预报问题与发生机制的最近的理论研究概况,以便使读者对于波浪研究所处的地位有一个大体的了解。为此,对与沿岸波浪有关的许多问题,例如用于近岸波的保角转换和特性曲线法等许多理论性研究则完全未能涉及。想要研究这些问题的读者请参阅 Stoker (1957) 的著作。再就是关于波浪衰减的问题、波与波的相互作用或波与海流和湍流

的相互作用等问题,本书仅作了适当的介绍。Kinsman(1965)的著作可以说是一部相当全面地介绍有关大洋波浪问题的教科书,因此关于大洋波浪的更为详细的讨论,请读者参考该书。此外,关于波高计和具体的观测方法请参考日本海洋学会编写的《海洋观测指南》一书。