

海洋

〔日〕 友田好文 著
高野健三

海洋出版社

海洋

1955年
第1期

第七卷第七期

海 洋

〔日〕 友田好文 高野健三 著

李若钝 井传才 译

王赐震 李凤岐 订

海 洋 出 版 社

1990年·北京

内 容 简 介

本书为日本共立出版株式会社所刊地球科学讲座的第四卷,是为日本的大学或大专院校从事海洋物理学研究者编写的参考书。书中简明扼要地介绍了海洋学通论的基本内容,如海底地形,海水和海冰的理化性质,海洋的热收支,大洋环流、波浪、潮汐、风暴潮等,对中尺度涡及海洋观测研究的新技术新成果,也及时地作了介绍。对潮能、波能的利用及温差发电等原理作了形象地介绍。对古海洋和海洋研究史的介绍别具一格。关于海-气相互作用及对海洋开发、海洋水产、生物等的联系与渗透的说明,又是本书的另一特色。

本书不仅可作为高等院校的物理海洋、气象等专业的教材,也适于作为各级海洋科技人员与干部的参考用书,对具有一股数理知识的广大海洋爱好者和立志海洋事业的青年,也是饶有兴味的普及性读物。

责任编辑 张宝珍

责任校对 刘兴昌

海 洋

〔日〕友田好文 高野健三 著

李若钝 井传才 译

王赐震 李凤歧 订

海洋出版社出版(北京市复兴门外大街1号)

新华书店北京发行所发行 北京妙峰山印刷厂

开本: 787×1092 1/32 印张: 11 字数: 20千字

1990年3月第一版 1990年3月第一次印刷

印数: 1—900

ISBN 7-5027-0519-8/P·64 ¥5.50元

译者的话

广阔无垠的海洋，从古代就为人们提供了渔盐之利，之后又成了人们通商航运及舰艇角逐的场所。由于陆地上耕地面积的逐年减少，矿产资源的过量采掘，以及能源危机阴影的笼罩，人们又一次把注意力转向海洋，以从中获取更多的矿物、蛋白质和能源。气候异常是关乎人类生活的大事，欲预测气候的变化，则需要把握海洋的变动。总之，海洋对于人类的过去、现在和未来都是至关重要的。因此，海洋科学成了当代最重要的三大学科之一。

物理海洋学是海洋科学的重要理论基础之一。它所研究的海洋水文物理、海水理化性质、海水运动及海-气相互作用等规律，不仅是进一步深入研究海洋的基础，也为海洋环境预报和海洋开发所必需。近年来，由于新技术在海洋中的应用，以及获取与处理资料手段的突飞猛进，促使海洋科学发生了飞跃的进展。海上的单船走航大面调查及陆上着眼于海洋平均状况研究的时代已成过去；对明确设定的目标实施专题调查并进行理论模拟研究的新阶段业已开始。物理海洋学的内容也相应地有了大幅度的充实与更新。

友田好文与高野健三教授合著的《海洋》一书，不仅简明扼要地阐述了有关物理海洋学的基本内容及未来的发展方向，而且及时地反映了海洋学有关领域的最新成果，诸如中尺度涡、大洋环流数值实验，以及大气-海洋耦合模式实验等等。其中，有些是作者本人的最新研究成果。

本书取材新颖，图文并茂，叙述别具一格。对基本概念的阐述，深入浅出、简明扼要、层次分明、重点突出。对各种学说和理论，有介绍有评述，有作者的独到见解，可使读者眼界开阔，免囿偏颇。更兼夹叙夹议，或征引史料，或辅以轶闻，读来引人入胜，而无啃一般理论专著的枯涩之感。因此，本书除适用于大学物理海洋和海洋气象等专业的师生参考外，对从事海洋工程、技术、地质、环境保护、预报服务各行业的读者，也是一本有用的参考书；而对众多的海洋爱好者和立志献身海洋事业的青年，也会从中受益。

在本书的翻译过程中，我们力求表述原意。已发现原书中的笔误或不妥之处，皆以脚注标出。所有专业名词术语和人名地名，依我国习惯译出。书后附索引及英汉对照人名表，以资查阅。由于制版原因，删掉了原书中的几幅图，敬请谅解。

原书所涉及内容范围甚广，而译者的知识面与水平有限，错误之处在所难免，敬请专家、读者不吝赐教。

青岛海洋大学地质系王德文副教授对本书的第二章和第十章进行了校对，此外侍茂崇副教授、范元炳先生等在本书翻译过程中也给予了热情帮助，谨致谢忱。

译者

1989年

前 言

海洋调查度过了艰辛的历程。从“挑战者”号的调查开始，至今已有百余年的历史了。

人们对海洋的认识既可以说已有相当的了解，又可以说目前还一无所知；因为尚有大量问题等待研究，却是事实。

这本书是为有志于海洋研究的人们，并作为大学或研究生院的参考书而写的。内容虽然以海洋物理学为中心，但也尽量注意让地学、化学以及生物学专业的人们能够接受，因此对专攻海洋物理学的人来说，或许会感到不足。

但这并非是本书的缺点。由于专业学科的区分，学物理的不学生物，学生物的不学物理，业已习以为常。当然，也不是无论在那个国家都这样。在某些国家就有不少大学，不论是哪一个专业，都把类似于本书所写的内容，作为攻读海洋学的公共必修课。

由于我们住在陆地上，生活在大气中，致力于研究发生在陆上或大气中的各种各样的自然现象是理所当然的。虽然生活在海边的人数只占人类总数的很少一部分，然而，人们还必须致力于海洋的研究，其理由就是因为海洋太广阔了。地球表面的70%以上为海洋所覆盖，生活在地球上的人在各个方面都受到海洋的强烈影响，以致于，假若没有这样广阔的海洋，包括人类在内的地面上生物的生活方式以及形态，大概都会完全改观。从某种意义上说来，河川、湖泊比海洋更靠近人们，但海洋对地球生物的重要性与河川、湖泊却完全

不同，这是因为海洋比河川湖泊远为广阔之故。

“海洋辽阔广大”，这是在儿歌中早已有的歌词。然而在日本海洋研究界对此仍有认识不足的倾向，似乎在很长时间里，一提海洋就是指近海或海湾。本书根据常识，省略了沿岸海洋学——在国外，若不是特别题名为《沿岸海洋学》或《河口海洋学》，也都会是同样的——以外洋作为对象。

由于同样的理由，对风浪和涌浪也不作详述。虽然风浪与涌浪不能说与海洋的广度没有关系，但是本质上与在游泳池或实验室的水槽里发生的现象是相同的。幸好有关这类问题，出版了很多高质量的专业书籍。

有名的巨著“The oceans their physics, chemistry and general biology”¹⁾(1946),在正文1049页中,有关海洋的形态、海水的性质及动力学等内容就占了373页(包括“观测”一章在内共计431页),而其中约1/3即157页为水团的内容(水团和海洋环流)。海洋中,温度、盐度、溶解氧及营养盐等性质相同的巨大的水体称为水团,通过水团的分布,研究它们的形成及变性的方法叫做水团分析。水团分析是在广阔的空间中研究海洋状况的有效手段。然而在本书中“水团分析”一词在哪里也没出现,到处都未述及这一事实——在某种意义上讲,似乎是它的地位在这三十几年间变低了——并不是被忽视,而是因为对它的讨论为时尚早。因为水团在何处以何种方式形成,以及经历了什么过程等,都与各种各样的过程——诸如在海面上与大气的相互作用、扩散、平流、混合、位能变为动能,反之动能变为位能等等,互相关联,其中无论哪一个课题的研究,对海洋的理解都是很重要

1)中译本《海洋》,毛汉礼译,科学出版社,1958。——译注

的。水团可以说是海洋学研究的归宿 以新的知识和手段为基础去研究水团的结构,只不过刚刚几年时间,研究成果还不多,未来的路程还很长。

在本书中很少引用观测资料(数据),测量方法几乎没有提及,这主要是因篇幅所限。在有限的篇幅内无论什么都塞进来,就笔者能力而言,难免会使它变成海洋术语手册。

详细举例引用文献与这类书的性质也不相称,所以也作了删节。本应采用国际单位(SI),然而在海洋学中有时会排上一串零,也未必方便,因而有些部分也采用了其他单位。换算表附于书末。

在出版这本书的时候,共立出版社的若井宽和古川昭政先生帮了不少忙。另外,山东海洋学院¹⁾(中华人民共和国)的王锡震先生也对原稿的不足之处提出过指正。

1983年6月

友田好文

高野健三

1) 现为青岛海洋大学。——译注

目 录

第一章 海洋研究的历史	(1)
1.1 古代	(1)
1.2 中世纪	(6)
1.3 海洋探险时代	(7)
1.4 北冰洋和南极海区	(11)
1.5 海洋深度	(13)
1.6 对水和海水的研究	(16)
1.7 海洋学的发展	(19)
1.8 第一次世界大战之后到探险时代的结束	(23)
1.9 从探险转向实验	(24)
第二章 海底地形	(29)
2.1 主要地形	(29)
2.2 详细的地形测量	(35)
2.3 海底构造	(38)
2.4 板块构造理论和洋底	(45)
第三章 水循环	(50)
3.1 水的分布	(50)
3.2 平均滞留时间	(53)
3.3 大洋间的水交换	(56)
第四章 海水的性质	(58)
4.1 盐度	(58)
4.2 微量元素	(60)
4.3 海底资源	(62)

4.4	密度及热膨胀系数	(63)
4.5	压缩系数	(67)
4.6	比热、汽化热、融解热	(70)
4.7	饱和蒸汽压	(74)
4.8	渗透压、表面张力、粘性系数	(77)
4.9	热传导系数、电导率	(81)
4.10	声学性质	(83)
4.11	水的光学性质	(87)
第五章	海冰的性质	(92)
5.1	海冰	(92)
5.2	盐度	(93)
5.3	密度	(95)
5.4	热膨胀系数、比热、热传导系数	(96)
5.5	辐射反照率	(98)
5.6	水、冰的性质与分子结构	(99)
第六章	热收支	(104)
6.1	地球上的热收支	(104)
6.2	海面热收支	(106)
6.3	海洋的热量输送	(113)
第七章	基本方程组	(119)
7.1	运动方程式	(119)
7.2	连续方程式	(126)
7.3	热盐方程式	(129)
7.4	平均运动方程组	(131)
7.5	能量方程式	(140)
7.6	量级估计	(143)
第八章	定常流	(150)

8.1	地转流	(150)
8.2	漂流	(156)
8.3	铅直水柱的水收支	(163)
8.4	封闭海区的水收支	(167)
8.5	涡度	(175)
8.6	关于西侧边界层的讨论	(182)
8.7	赤道潜流	(185)
第九章	大洋环流	(187)
9.1	大洋环流	(187)
9.2	深层流的概貌	(190)
9.3	海水的年龄	(195)
9.4	深层环流和气候	(199)
9.5	数值研究	(200)
9.6	大洋环流的数值研究	(205)
9.7	大气-海洋耦合模式	(209)
第十章	古代的海洋	(217)
10.1	古海洋环流	(217)
10.2	18 000年前的海洋	(222)
10.3	中生代(6 500—22 000万年前)的海洋 (海侵)	(226)
第十一章	中尺度涡	(229)
11.1	对数值研究的批判	(230)
11.2	流速的测定方法	(231)
11.3	多边形实验(POLYGON)和中大洋动力学 实验(MODE)	(235)
11.4	涡的数值研究	(242)
第十二章	波动	(246)

12.1	重力波方程式.....	(246)
12.2	重力波的性质.....	(250)
12.3	群速度和能量的传播.....	(255)
12.4	无限小振幅假定的限度.....	(260)
12.5	内波.....	(261)
12.6	驻波.....	(268)
12.7	地转效应.....	(270)
第十三章	中频波和高频波.....	(279)
13.1	潮汐.....	(280)
13.2	地球潮汐.....	(288)
13.3	风浪与涌.....	(293)
13.4	海洋能量的利用.....	(299)
13.5	海啸和风暴潮.....	(303)
第十四章	新的观测方法.....	(308)
14.1	今后的观测.....	(308)
14.2	声学层析图象法.....	(311)
14.3	人造卫星.....	(313)
文献		(319)
	国际单位及其换算表.....	(327)
	海洋学中经常使用的单位.....	(327)
	索引.....	(328)
	英汉对照人名索引.....	(334)

第一章 海洋研究的历史*

现在还未弄清人类从何时（人类最古的石器时代可以追溯到175万年以前）、用何种手段开始了对海洋的观察。这里回顾一下自5000年前以来的观察、探险、研究的历史。以贸易、渔业或殖民为动力，促进了造船和航海技术的发展，密切了人类与海洋的关系。从知道水是氢和氧的化合物的18世纪末到19世纪初这一阶段，已经进行了一些与现今的海洋学有关的研究，但近代模式的海洋研究，则是从19世纪后半叶开始的。以海底电缆的敷设为转机，激发了对深海研究的兴趣。基于第一次世界大战发展起来的水声技术，使用了水声测深法，终于探明了海洋的深度。第二次世界大战之前，开始酝酿国际联合调查。第二次世界大战之后，海洋研究逐渐运用了新的技术。在20世纪50年代后期进行的深海流速调查，尽管只偶然地触及了中尺度涡的一部分问题，然而，这对其后的研究方向却具有决定性的影响。使与一百年以前相同的深海调查亦产生了飞跃。而今后的方向则侧重于进行海洋对气候作用的研究。

1.1 古 代

在形形色色的海洋现象中，最易引人注目的要算是大浪

* 青岛海洋大学侍茂崇副教授对本章进行了全面校对。——译注

和潮汐。特别是潮汐，由于它的规律性容易被人觉察，所以早就为中国、印度、巴比伦¹⁾等一些文明古国所熟知。遗憾的是几乎没留下什么记载。对于古国之一的埃及来说，所谓海是指地中海，^③由于地中海的潮差很小——仅30厘米左右，所以在地中海似乎没有进行过海洋水位的观测。但是对尼罗河的水位，至少在公元前3000年前后（第一王朝）就已经进行了观测。埃及王朝使用的水位计，不仅保留了记录，也保留了

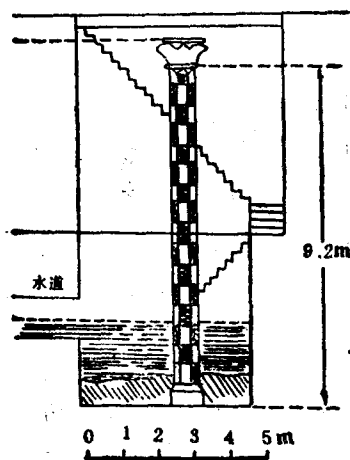


图 1.1 古埃及使用的水位计

实物。图1.1是公元前8世纪在开罗附近的罗答岛设置的水位计，一直完好地保存至今。它的结构是八角形的柱体，以1阿拉伯码(54厘米)的间隔分成16等份，每等份又以9厘米的间隔细分为6小格，将此柱体立于横放的石阶上，根据这些格子的刻度测读水位。

现已发现，关于海洋水位的最早的记载是远航大西洋和印度洋的希腊人或罗马人的记录。

希腊在地中海开始活跃的时候，埃及、巴比伦、腓尼基、克里特等国已经活跃在海上了。特别是腓尼基(Phoenicia，从公元前15世纪到公元前11世纪左右，在现今的叙利亚一带繁荣的城市国家的总称)，有“古代的大英帝国”之

1) 巴比伦, Babylonia, 即古代的巴比伦王国, 位于西亚的底格里斯河、幼发拉底河的下游地区, 为世界最古老的文明发源地之一。——译注

称。他们为了抢占海上交通和殖民地，曾经通过直布罗陀海峡在非洲的西海岸直至北海一带航行过。虽然，公元前6世纪的航海，以及在公元前3世纪迦太基¹⁾人汉诺(Hanno)率领三万（据传说）迦太基、腓尼基人的非洲沿岸的航海很有名，但由于腓尼基人唯恐他们开辟的新航线被别人知道，所以没有留下航海记录。他们活动的遗迹，仅是从其他国家的记载以及腓尼基语源的地名推测出来的。

马其顿国的亚历山德罗国王(Alexandros, 公元前356—323年)率军远征印度后的返航，可谓古代大航海之一例。虽然国王自己并未乘船，但其主力大军是乘船从印度河进入波斯湾的，在与陆路分支会合之前，海上航行达五个月之久。

历史上最早的大探险家看来要算是马西里亚（现在的马赛）的毕塞亚斯(Putheas, 生于公元前4世纪，是一位天文学家)。当时除腓尼基人以外，海上交通仅限于地中海和印度洋；独家垄断大西洋的腓尼基人，以从事锡和琥珀贸易大发其财。为了不让腓尼基人再垄断，在马西里亚商人们的支持下，毕塞亚斯进行了北方探险，他从法国西海岸北上直到冰岛。通过这次探险才知道，在冰岛以北一年中有六个月全是白昼，而其余六个月全是黑夜。

指出潮汐的涨落与月球运行关系的是毕塞亚斯，而考虑到潮汐不仅与月球而且还与太阳有关的是波塞多尼斯(Poseidonios, 公元前135—公元前50年的天文学家)。波塞多尼斯是根据亚历山大港与劳德斯²⁾港之间的距离和纬度差推算地

1) 迦太基; Carthage, 古代腓尼基人在北非突尼斯东北大约12公里处建起的港口城市。公元前6世纪称霸地中海, 前3世纪到前2世纪与罗马帝国争霸, 于前147年为罗马所灭。——译注

2) 劳德斯港是埃及港口亚历山大以南的一个地名。——译注

球大小的学者。最早计算地球大小的是亚历山大城图书馆馆长埃拉托色尼(大约公元前273年—公元前192年),他利用在夏至日地上立竿的影长随纬度的变化,推知地球大圆周长约为45000公里,这个值比正确值¹⁾仅大10%左右。而波塞多尼斯的估计值比正确值要小近30%,但是由于托勒玫(Ptōl-
emaios)公元90年左右—168年)采用了这个小值,而托勒玫又是当时的权威,故在以后的很长时间内,沿用了波塞多尼斯的估计。结果,用纬度、经度差计算两点间的距离,比实际距离要短30%左右。由于这一错误,就把从欧洲向西航行到亚洲大陆的航程估计得短了。这也是公元1400年后哥伦布在海洋探险中偏航的原因之一,是他到死为止一直坚信自己已到达亚洲大陆的东部——实则是美洲大陆的根据之一。

在埃拉托色尼之前,主张地球为球形的亚里士多德(Aristoteles, 公元前384年—公元前322年)曾进行过关于海水盐分起源的探讨,大气和海洋间的水循环的研究以及海洋动物的研究,堪称海洋研究者的先驱。

图1.2是托勒玫描绘的世界地图。左边出现的大西洋的部份,向图的背面扩展,与图的右端的亚洲大陆相邻接。另一个特征是南方大陆的存在(当时还是未知的大陆),世界上的大陆都与这个南方大陆相连。

与地中海周围诸国,并立于文明古国之林的大国——中国,在公元前100年左右已经知道了磁石的指北性,这成了后来发明罗盘针的基础。另一个文明古国印度,由于没有把文字记在像莎草纸或粘土板这种耐久性好的物品上,因而难以得知有关他们的海洋科学技术的发展状况。

1)一般取地球平均半径为6371公里,于是地球大圆周长平均为40032公里。

——译注