

物理海洋学

第4卷

〔日〕增泽让太郎等著



科学出版社

物理海洋学

第 4 卷

〔日〕增泽让太郎 等著

音守范 译

刘玉林 王德文 校

内 容 简 介

本书内容包括三个部分。第一部分为世界的水系，主要讲述了水系的分析方法和影响水系的各因素；其次介绍了世界海洋中水系的生成和划分，并对各种理论作了介绍和评价。第二部分为海冰，主要介绍了海冰的分类、生成和发育机制以及海冰的各种物理和化学性质，并介绍了一些测定海冰性质的方法。最后还介绍了流冰的漂流理论。本书第三部分为海洋遥感，主要介绍了遥感技术在海洋学上的应用，已取得的成就和今后的发展远景。

本书可供有关海洋水文专业的师生、科技人员及从事海洋遥感技术的专业人员阅读，亦可供从事水文预报的人员参考。

海洋科学基础讲座 4

增沢讓太郎 等著

海洋物理 IV

東海大学出版会，1970

物 理 海 洋 学

第 4 卷

〔日〕增泽让太郎 等著

鲁守范 译

刘玉林 王德文 校

责任编辑 赵徐懿

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10月第一版 开本：787×1092 1/32

1985年10月第一次印刷 印张：11 1/4

印数：0001—9500 字数：252,000

统一书号：13031·3005

本社书号：4232·13—17

定 价： 2.65 元

译 者 的 话

本书为日本东海大学编辑出版的《海洋科学基础讲座》的第4卷——《物理海洋学》之四(原文为《海洋物理IV》)。内容包括三部分。

第一部分是海洋的水系,介绍了海水的特性、水系的分析和世界的水系。

到目前为止,我们对海况的研究主要是将水温、盐度、溶解氧含量等的分布与海水的流动联系起来,着重对海况进行描述。本书叙述了以往曾得到广泛应用的所谓水团分析,并对各个学者的研究成果进行了比较和汇总。例如在水系分析中,介绍了 Fofonoff 的理论。指出,南极底层水是由于大陆架水与暖深层水相混合形成的,这个理论的缺点是,过于夸大了混合使密度增加的作用。再如, Rossby 认为,南极大陆附近的大陆架深度为 500 米左右,其中海面到 200 米深的表层水是由于冬季结冰而形成的,故水温为冰点,盐度接近 34.7‰。这样形成的大陆架水在与大致等量的暖深层水相混合时,沿大陆斜坡下沉而成为南极底层水。而根据最近的研究结果表明,南极底层水不仅可在冬季形成,而且有可能在全年各个季节形成。再如,中层水系的海水出现在温跃层到深层水的上部。其突出特征不是水温,而是盐度与溶解氧含量,或者是盐度与溶解氧含量的分布特征。就是说,中层水系的分类根据乃是在暖、冷水圈的边界附近出现的盐度和溶解氧含量的垂直极值。

在海冰一编中,作者介绍了海冰的分类、海冰的形成和发

育以及海冰的各种物理和化学性质。在本编中，作者还向我们介绍了测定海冰物理和化学性质的一些方法。尽管有些方法的测定实例不多，甚至可以说极为罕见，但从中也有可取之处。例如，关于海冰弯曲强度的测定方法，就是根据桥梁的弹性理论提出的，并且巧妙地利用了海冰的特性，成功地测定出海冰的弯曲强度值。

海冰的形成机制和分布，无论对海洋研究还是国计民生都占有很重要的位置。例如，南极大陆周围海冰的生成对南极底层水的形成是不可缺少的因素。在南极大陆周围，有的部分在表层上看不到低盐层，垂直方向的盐度变化也小，因此南极特有海冰的急剧成长的结果形成了比大洋海水盐度还高的海水，这部分海水沿大陆斜面下沉至海底。根据水团分析的结果就会得知，这部分南极底层水乃是全世界海洋中相当一部分底层水的发源地。

在本书的第三编中，作者介绍了最近才发展起来的海洋遥感技术。主要介绍了可见光遥感、红外遥感和微波遥感在海洋观测中所发挥的威力。例如，用可见光遥感可探测海面以下的状况；用红外辐射可以遥感对象物的温度，而微波遥感最有希望，因为微波在水中的光学深度比红外的光学深度要大两个数量级以上，所以可探测温度、盐度，还可探测海冰原的分布状态和冰的类别。

由于遥感资料同海洋现象之间并不是对等的关系，其间存在着极为复杂而又微妙的关系。因此，要想将遥感资料直接用于海况的研究，就必须从中提取有关的海洋信息。为此就要对气象和海况进行分析以便判读资料，因此，本编中还用实例较详细地介绍了判读水中信息的方法，以作为应用遥感资料的一个借鉴。由于目前遥感技术尚处于一个探索和发展的阶段，尽管这方面存在的问题尚为数不少，但无疑地，它有

着广阔的发展远景，许多过去在海洋学上连想都不敢想的问题，今天利用遥感技术却得以实现，因此它必将吸引着越来越多的人去从事研究和开发，从而造福于人类。

总之，本书中所介绍的三部分，虽属世界大洋范畴，但仍不失为是一本有价值的参考书。特别是遥感技术，正以日新月异的面貌向前发展，所谓他山之石可以攻玉，这对促进我国海洋事业的发展，无疑会起有一定的作用。

本书译文曾请国家海洋局第一海洋研究所王宗山、孙湘平和薛德镛同志分别进行了审阅，并提出不少宝贵意见，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，尚希读者不吝指正，深致谢意。

1981年7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，虽有须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 海洋中的水系

增沢謙太郎 蓮沼 一

| | |
|--------------------------|----|
| 第 1 章 地球上的海水 | 2 |
| 1.1 大洋 | 3 |
| 1.2 边缘海 | 5 |
| 第 2 章 海水的海况特性 | 6 |
| 2.1 海况 | 6 |
| 2.2 海水特性要素 | 7 |
| 2.2.1 水温 | 7 |
| 2.2.2 盐度 | 9 |
| 2.2.3 比容 | 9 |
| 2.2.4 溶解氧 | 12 |
| 2.2.5 海水特性分布图 | 13 |
| 2.3 垂直分布 | 15 |
| 2.3.1 暖水层与冷水层 | 15 |
| 2.3.2 跃层 | 16 |
| 2.3.3 要素的极大值层和极小值层 | 18 |
| 2.3.4 细微分布 | 20 |
| 2.4 水团、水系 | 21 |
| 2.4.1 水团 | 21 |
| 2.4.2 水系 | 23 |
| 第 3 章 水系的分析 | 25 |
| 3.1 守恒定律 | 25 |
| 3.1.1 质量守恒定律 | 25 |
| 3.1.2 盐分的守恒定律 | 26 |

| | | |
|-------|-------------------|-----|
| 3.1.3 | 保守量与非保守量 | 27 |
| 3.2 | 海-气间热量交换过程 | 29 |
| 3.2.1 | 海面的辐射热 | 30 |
| 3.2.2 | 海面输送的热量 | 31 |
| 3.2.3 | 北太平洋海面的热量收支 | 35 |
| 3.3 | 海面附近的运动过程 | 36 |
| 3.3.1 | 水平辐合 | 36 |
| 3.3.2 | 表面混合层 | 39 |
| 3.4 | 海水中的混合作用 | 40 |
| 3.4.1 | 平均流和扩散 | 41 |
| 3.4.2 | 湍流扩散 | 42 |
| 3.5 | 海洋中的生物化学过程 | 44 |
| 3.6 | 等比容分析 | 45 |
| 3.6.1 | 测点图 | 45 |
| 3.6.2 | 等比容面上的地转流 | 47 |
| 3.6.3 | 等比容分析图 | 52 |
| 第4章 | 世界的水系 | 56 |
| 4.1 | 水系的分类 | 56 |
| 4.1.1 | 大洋水团的分布 | 56 |
| 4.1.2 | 世界海水特性的频率分布 | 61 |
| 4.1.3 | 海流的输送水系 | 65 |
| 4.2 | 暖水圈的水系 | 70 |
| 4.2.1 | 热带高盐度水 | 71 |
| 4.2.2 | 副热带型水 | 73 |
| 4.2.3 | 副热带温跃层水 | 76 |
| 4.3 | 深层的水系 | 78 |
| 4.3.1 | 深层水的运动 | 78 |
| 4.3.2 | 北大西洋深层水 | 81 |
| 4.3.3 | 南极底层水 | 90 |
| 4.3.4 | 深层共同水 | 98 |
| 4.4 | 中层的水系 | 101 |

| | | |
|-------|---------------|-----|
| 4.4.1 | 北太平洋中层水 | 101 |
| 4.4.2 | 南极中层水 | 107 |
| 4.4.3 | 高盐度中层水 | 109 |
| 4.4.4 | 最低含氧量水层 | 112 |
| | 参考文献 | 115 |

第二编 海 冰

田 畑 忠 司

| | | |
|-------|-----------------------|-----|
| 第 1 章 | 海冰 | 124 |
| 1.1 | 海冰的分类 | 125 |
| 1.1.1 | 一年冰与多年冰 | 126 |
| 1.1.2 | 固定冰与流冰 | 126 |
| 1.1.3 | 冰丘与冰脊 | 127 |
| 1.1.4 | 冰域中的开阔水面 | 127 |
| 第 2 章 | 海冰的分布 | 128 |
| 2.1 | 北冰洋的海冰分布 | 128 |
| 2.2 | 南大洋的海冰分布 | 130 |
| 2.3 | 南大洋与北冰洋的海冰 | 132 |
| 2.4 | 白令海的海冰分布 | 135 |
| 2.5 | 鄂霍次克海的海冰分布 | 137 |
| 2.6 | 流冰量的日变化 | 139 |
| 2.7 | 流冰量的多年变化 | 142 |
| 第 3 章 | 形成海冰的各种条件 | 145 |
| 3.1 | 海水的结冰温度与最大密度的温度 | 145 |
| 3.2 | 冷却引起的垂直对流 | 148 |
| 3.3 | 对流引起的混合深度与潜冰量 | 149 |
| 3.4 | 潜冰量与生成冰的厚度 | 151 |
| 3.5 | 结冰前海水的冷却 | 155 |
| 第 4 章 | 海冰的生成与成长 | 157 |
| 4.1 | 海冰的形成 | 157 |

| | | |
|-------|-------------------------------|-----|
| 4.2 | 海冰的结构 | 159 |
| 4.2.1 | 垂直结构 | 159 |
| 4.2.2 | 水平结构 | 160 |
| 4.3 | 由温度引起的卤水的变化 | 163 |
| 4.4 | 海冰的盐度 | 165 |
| 4.4.1 | 海冰的盐分脱落现象 | 166 |
| 4.4.2 | 多年冰的盐度 | 169 |
| 4.4.3 | 从海冰下面发育的中空冰柱 | 170 |
| 4.5 | 海冰的成长 | 173 |
| 4.5.1 | 薄一年冰的成长模型 | 175 |
| 4.5.2 | 多年冰的成长模型 | 176 |
| 4.5.3 | 正在成长的海冰底面 | 181 |
| 4.5.4 | 海冰在对流混合的发展与南极底层水的形成中的作用 | 184 |
| 第5章 | 海冰的各种性质 | 187 |
| 5.1 | 密度 | 188 |
| 5.2 | 热性质 | 189 |
| 5.2.1 | 比热 | 190 |
| 5.2.2 | 融解热 | 192 |
| 5.2.3 | 导热率 | 193 |
| 5.2.4 | 温度扩散率 | 195 |
| 5.2.5 | 热膨胀 | 196 |
| 5.3 | 反照率 | 197 |
| 5.4 | 力学性质 | 199 |
| 5.4.1 | 压缩强度 | 200 |
| 5.4.2 | 抗拉强度 | 202 |
| 5.4.3 | 弯曲强度 | 203 |
| 5.4.4 | 剪切强度 | 206 |
| 5.4.5 | 弹性系数 | 207 |
| 5.4.6 | 泊松比 | 210 |
| 5.4.7 | 摩擦与粘附 | 210 |

| | | |
|-------|--------------------|-----|
| 5.5 | 电磁性质 | 212 |
| 5.6 | 海冰的各种常数分布的推定 | 216 |
| 第 6 章 | 流冰的漂流 | 217 |
| 6.1 | 作用于流冰上的各种力 | 218 |
| 6.2 | 风应力 | 220 |
| 6.2.1 | 用直接法测定风应力 | 220 |
| 6.2.2 | 用风速分布测定风应力 | 221 |
| 6.2.3 | 用涡动相关法测定风应力 | 221 |
| 6.2.4 | 表面阻力系数 | 222 |
| 6.2.5 | 形状阻力系数 | 224 |
| 6.3 | 海冰流动所产生的应力 | 225 |
| 6.4 | 流冰的漂流理论 | 227 |
| | 参考文献 | 232 |

第三编 海洋遥感

渡 迎 贯 太 郎

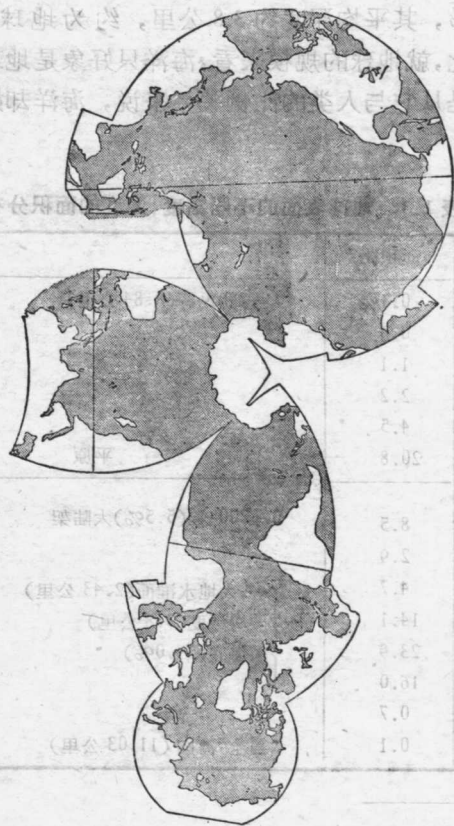
| | | |
|-------|----------------------|-----|
| 第 1 章 | 什么是遥感 | 243 |
| 1.1 | 遥感 | 244 |
| 1.2 | 遥感所使用的电磁波范围 | 245 |
| 1.3 | 遥感的有效性与局限性 | 246 |
| 1.4 | 各种传感器可能探测的项目 | 250 |
| 第 2 章 | 遥感概论 | 252 |
| 2.1 | 可见光遥感 | 252 |
| 2.1.1 | 光谱特征与特征空间 | 252 |
| 2.1.2 | 多光谱照片 | 255 |
| 2.1.3 | 多光谱扫描仪 | 257 |
| 2.1.4 | “大地卫星 1”号多光谱资料 | 262 |
| 2.1.5 | 多光谱数据的预处理 | 266 |
| 2.1.6 | 用于识别对象物的图象分析 | 269 |
| 2.2 | 红外遥感 | 276 |

| | | |
|-------|-----------------------|-----|
| 2.2.1 | 热辐射 | 276 |
| 2.2.2 | 红外辐射计 | 278 |
| 2.2.3 | 热成象 | 279 |
| 2.3 | 微波遥感 | 285 |
| 2.3.1 | 微波辐射 | 286 |
| 2.3.2 | 微波辐射计 | 289 |
| 2.3.3 | 盐度探测的实验 | 290 |
| 2.3.4 | 海冰的全天候监测 | 291 |
| 2.4 | 有源遥感 | 293 |
| 2.4.1 | 雷达的地面分辨率 | 293 |
| 2.4.2 | 雷达散射计 | 297 |
| 2.4.3 | 雷达高度计 | 299 |
| 2.4.4 | 激光高度计 | 305 |
| 第3章 | 水中信息的遥感 | 308 |
| 3.1 | 海洋遥感的特点 | 308 |
| 3.2 | 水中信息、空中信息的分离和识别 | 310 |
| 3.3 | 数字分类分析法 | 319 |
| 3.4 | 悬浮物含量的推算 | 322 |
| 3.5 | 今后尚需努力研究的几个问题 | 325 |
| 3.5.1 | 可见光传感器的感受信号 | 325 |
| 3.5.2 | 光谱特征随深度的变化 | 331 |
| 3.6 | 水深的推算 | 337 |
| 第4章 | 结束语 | 343 |
| 参考文献 | | 345 |

第一编 海洋中的水系

增沢讓太郎 蓮沼啟一

地球表面積の約70%を海洋が占め、その深さは平均して3,658メートルである。海洋は、地球の気候調節に重要な役割を果たしている。また、海洋には豊富な生物資源が存在し、人類の生活に不可欠な資源を提供している。



| 緯度、経度 | 面積 (平方海里) |
|-------|-----------|
| > 20 | 1.1 |
| 15-20 | 2.3 |
| 10-15 | 4.7 |
| 5-10 | 30.8 |
| 0-5 | 8.2 |
| 0-1 | 2.4 |
| 0-1 | 4.7 |
| 0-1 | 14.1 |
| 0-1 | 23.4 |
| 0-1 | 10.0 |
| 0-1 | 0.7 |
| 0-1 | 0.1 |

(据 Reid, J. L. and R. J. Lynn, *Deep-Sea Res.*, 18 (11), 1971)

第 1 章 地球上的海水

地球上海水的总量为 $1,369 \times 10^6$ 立方公里(约为地球体积的 $1/790$)，面积为 361×10^6 平方公里，约占地球表面面积的 70.8% ，其平均深度约 3.8 公里，约为地球半径的 $1/1680$ 。因此，就地球的规模来看，海洋只好象是地球上的一层薄膜，但是从它与人类的比例关系来说，海洋却好象是无限的。

表 1.1 地球表面的不同高度、深度的面积分布

| 高度、深度 | 面积比 | |
|-------|------|--------------------|
| >5 公里 | 0.1% | 珠穆朗玛峰(8.84公里)* |
| 4—5 | 0.4 | |
| 3—4 | 1.1 | |
| 2—3 | 2.2 | |
| 1—2 | 4.5 | |
| 0—1 | 20.8 | |
| | | (海面) 平原 |
| 0—1 | 8.5 | 0—200 米 (5.5%) 大陆架 |
| 1—2 | 2.9 | ——大地水准面(2.43 公里) |
| 2—3 | 4.7 | |
| 3—4 | 14.1 | } 平均深度(3.8 公里) |
| 4—5 | 23.9 | |
| 5—6 | 16.0 | |
| 6—7 | 0.7 | } 深海底(54.0%) |
| >7 | 0.1 | |
| | | “勇士”海沟(11.03 公里) |

* 应为 8.848 公里。——译者注

就海底而论，面积最大的是深度为3—6公里的深海底（abyssal floor），占地球总表面面积的54%，为整个海底面积的76%（表1.1）。盘据在这个深海底上的浩瀚的深层水似乎与人类活动无关，但对于地球上的物质循环，却在无形之中起着重要的作用。在地球表面上，另一个占有广阔面积的是接近海面的平坦面，也可称为大陆台。大陆台海面以下的部分是大陆架（continental shelf）。如果以200米的间隔，对表1.1进行统计的话，则处于海面下200米的大陆架的面积，在地球表面中为最大，相当于地球表面面积的5.5%和整个海底面积的7.6%。大陆架上的海水受着复杂的海洋过程的影响，而这种复杂的海洋过程则是由于海水与两个界面——海面和海底——相接触而造成的。

1.1 大 洋

海洋的面积占整个地球表面面积的71%，但在南半球，占81%；在北半球，占61%。这样，世界上的海洋就偏居于南半球了。从而使环绕着南极大陆的南大洋*向北突出三个分支，形成了一个连续的水域。在这三个突出的水域中，太平洋的范围最广，印度洋深入陆地不远，而大西洋则纵贯于大陆块中，从其北面的北极海通过白令海峡，与太平洋相衔接。大西洋与太平洋的另一个边界，是南美洲南端的德雷克海峡。因此，两个大洋的海水交换就受到了很大限制。

另一方面，大西洋与印度洋的边界，是苏伊士运河和通过非洲南端厄加勒斯角的20°E子午线。因而地中海是大西洋的边缘海；红海是印度洋的边缘海。一般认为，印度洋与太平

* 系指围绕南极周围的三大洋海水，下同。——译者注

表 1.2 世界主要海的面积、体积、深度(据 Kossina, 1921 的资料订正增补)

| 海 名 | 面 积 (10 ⁶ 公里 ²) | 体 积 (10 ⁶ 公里 ³) | 平均深度 (米) | 最大深度 (米) |
|---------------------|---|---|----------------|-------------|
| 太 平 洋 | 179.679 (165.246) | 723.699 (707.555) | 4028 (4282) | 11034 |
| 大 西 洋 | 106.463 (182.441) | 354.679 (323.613) | 3332 (3926) | 9199 |
| 印 度 洋 | 74.917 (73.443) | 291.945 (291.030) | 3839 (3963) | 7480 |
| 大洋合计 | 36.1059 (321.130) | 1370.323 (1322.198) | 3795 (4117) | 11034 |
| 北 极 地 中 海 | 14.090 | 16.980 | 1025 | >5440 |
| 美 洲 地 中 海 | 4.319 | 9.573 | 2216 | 6415 |
| 欧 洲 地 中 海 (包括黑海) | 2.966 | 4.238 | 1429 | 4404 |
| 大 洋 洲 - 亚 洲 地 中 海 | 8.143 | 9.874 | 1212 | 7315 |
| 波 罗 的 海 | 0.422 | 0.023 | 55 | 427 |
| 哈 得 孙 湾 | 1.232 | 0.158 | 128 | 229 |
| 红 海 | 0.438 | 0.215 | 491 | 2211 |
| 波 斯 湾 | 0.239 | 0.006 | 25 | 91 |
| 地中海合计 | 31.849 | 41.066 | 1289 | 7315 |
| 白 令 海 | 2.268 | 3.259 | 1437 | 3575 |
| 鄂 霍 次 克 海 | 1.528 | 1.279 | 838 | 3374 |
| 日 本 海 | 1.008 | 1.361 | 1350 | 3610 |
| 东 海 | 1.249 | 0.235 | 188 | 2681 |
| 安 达 曼 海 | 0.798 | 0.694 | 870 | 3641 |
| 英 吉 利 近 海 | 0.178 | 0.010 | 57 | 680 |
| 加 利 福 尼 亚 湾 | 0.162 | 0.132 | 813 | 2904 |
| 圣 劳 伦 斯 湾 | 0.238 | 0.030 | 127 | 572 |
| 北 海 | 0.575 | 0.054 | 94 | 3667 |
| 塔 斯 曼 海 | 0.075 | 0.005 | 70 | 91 |
| 边缘海合计 | 8.079 | 7.059 | 874 | 3667 |

() 内为除去边缘海的值。