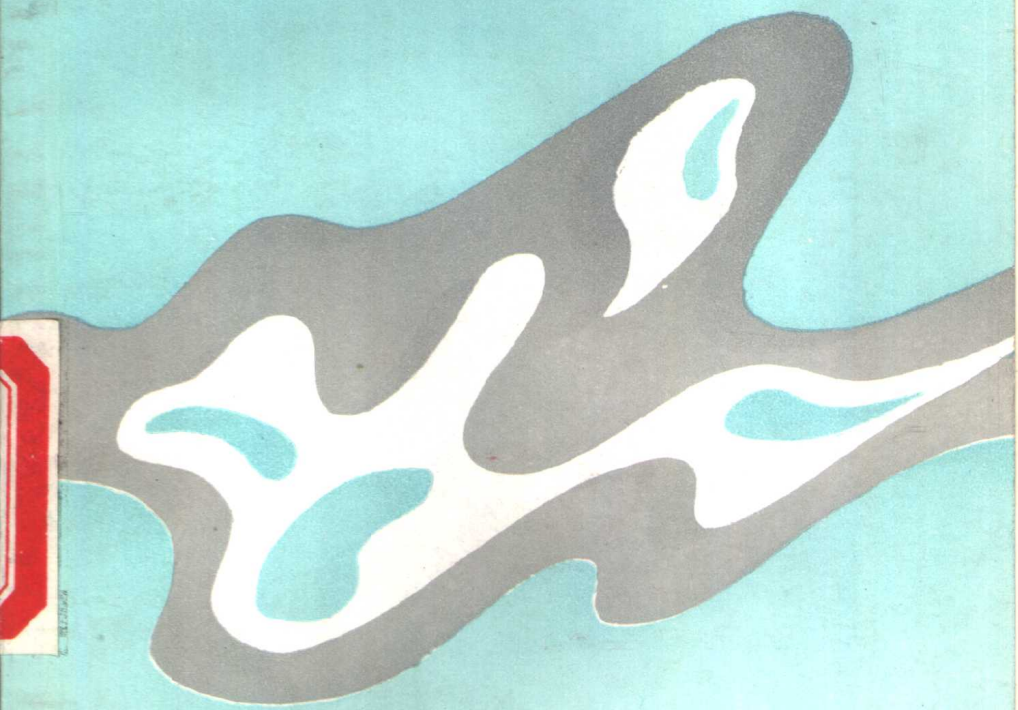


水圈的富营养化 与水产增养殖

日本水产学会编

韩书文 鲁守范译 张立言校



农业出版社

07184

4731.5

02

11

水圈的富营养化与水产增养殖

日本水产学会 编

韩书文 鲁守范 译

张立言 校

农业出版社

07184

水産学シソーズ(1)
水圏の富栄養化と水産増養殖
日本水産学会編
発行所 恒星社厚生閣
1973年4月15日初版
1977年10月30日三刷

水圏の富栄養化と水産増養殖

日本水産学会 編
韩书文 鲁守范 译
张立言 校

* * *

责任编辑 林维芳

农业出版社出版 (北京朝内大街130号)
新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 4.25印张 94千字
1986年3月第1版 1986年3月北京第1次印刷
印数 1—2,400册

统一书号 16144·3104

前 言

最近，许多研究部门进行了关于渔业环境问题的调查和研究，并且提出了大量的调查报告。但是，这些报告不少是作为地区性问题提出的，而广泛讨论渔业环境问题的机会则很少，因而这些成果未能得到充分利用。日本近海的海洋污染发展很快，在许多内湾和濑户内海等海域赤潮频发，对渔业和养殖业造成很大危害。现在，我们从水产学的角度来讨论环境保护问题，以供水产业参考，进而对人类的环境保护工作也起到参考作用，这是日本水产学会的一项重要任务。

在有关环境污染的许多问题中，水圈的富营养化在日本沿岸海域几乎已成为同水产增养殖密切相关的问题。关于富营养化的论述确实不少，对水产增养殖直接蒙受影响的接受方式也自不同角度提出了不同的看法。另一方面，关于由富营养化引起水圈的生态系统的变化，以及这种变化对水产生物生产的影响，特别是直接从事水产试验场、其他水产增养殖的研究人员、技术人员对此尤为关心。甚至将来水产增养殖的发展也将依赖于这一问题的解决，可以说这种说法并不过甚。最近由于城市排水和工厂废水引起了富营养化的发展，与此同时在内湾等也加速了整个生物生产的过程。对于水产增养殖的高密度化来说，也应该作为一个问题提出来。

关于富营养化与水产增养殖的研究成果，现在还不能说已经取得相当成就。但决定计划召开“水圈富营养化与水产

增养殖”的论文讨论会,如上所述,这是日本水产学会所属会员的课题,必须由自己作出回答和提出解决问题的方向。另外,这也是根据渔业环境保全问题特别委员会的提案而进行的。

渔业环境保全问题特别委员会在1972年3月的一份报告中提出,作为对于环境问题的态度,渔业环境保护必须是通过人类的生活环境来实施,为此这项研究就应当是以弄清环境与生物生产的关系为基础来进行。而且为了协助会员在这一范围内研究活动,计划举行论文讨论会、讲演会等,作为这项事业之一环。于是决定1972年秋季大会上举行“水圈富营养化与水产增养殖”的论文讨论会,由我们三人负责筹备进行这一工作。

1972年10月12日于高知大学文理学部,在秋季大会筹备委员会、会议材料提供者以及与会各位学者的共同努力下,经过许多与会者的热烈讨论,从而完成了这次讨论会的任务,本书是由这次讨论记录汇编而成。

论文讨论会取得的许多成果,尽收在本书的各篇论文中。作为会议筹备者没有汇总讨论会的结果,其原因是,对于富营养化与水质污染特别是与有机污染的关系,这三者的解释以及富营养化的影响,在论文提供者与与会者之间意见有些分歧,加上提出富营养化的论文讨论会还是第一次,所以不可能作出恰当的结论。这样倒不如让参加论文讨论者、读者参考论文和讨论内容似乎更为适宜。在收集论文中,有的从实际增养殖的角度出发,指出了由于超过富营养化便会引起弊害的富营养界限;有的提出了关于海域富营养化等级划分的详细建议。这些论述和建议以及其他许多成果,与现在过早地下结论,不如在我们分析面临的问题和解决这些

问题的过程中，使之得出正确的评价。

作为《水产学丛书》的第一册，在出版本次论文讨论会的记录时，尚有许多问题。特别是在召开论文讨论会时才决定出版《水产学丛书》，因而对执笔撰文者增加了许多困难，加上对惠寄的原稿未来得及整理，所以在体裁安排上也有不够统一之处。这些都是我们筹备者的责任，深感抱歉。会议期间，不少人热烈地提出了问题并参加了讨论，因篇幅所限只好割爱，尚请见谅。

最后，对本书常用的几个术语作如下统一规定： N 为氮， P 为磷， NH_4-N 为氨态氮， NO_2-N 为亚硝酸态氮， NO_3-N 为硝酸态氮， PO_4-P 为磷酸态磷。

九州大学农学部	花冈 资
广岛大学水畜产学部	村上 丰
香川大学农学部	冈市友利

译 者 的 话

近几年来，日本近海污染发展很快，在许多内湾和濑户内海等海域赤潮频发，对渔业和养殖业造成很大危害。关于渔业环境问题的调查研究表明，水圈的富营养化同日本沿岸海域水产增养殖密切相关。这个问题已引起水产界的关切。

本书由日本“水圈富营养化与水产增养殖”讨论会的论文汇编而成。关于富营养化机制问题，在淡水域的富营养化，浅海的富营养化，以及水质污染与富营养化等三篇论文中作了介绍。关于生态系统的变化与水产增养殖的问题，在淡水养鱼池中的富营养界限、浅海增养殖的富营养化、初级生产阶段的生物生产的变化以及高级生产阶段的生物生产的变化等四篇论文中作了详细阐述。这些论文，对从事水产科研、教学人员、以及有关从事水产增养殖的技术人员具有参考价值。

由于水平有限，不妥之处，敬请指正。

译 者

一九八四年十二月

目 录

译者的话

第一篇 富营养化的机制	1
第一章 淡水域的富营养化 (坂本 充)	1
§ 1. 富营养化	1
§ 2. 湖水的营养盐含量与藻类生产的意义	4
§ 3. 营养盐的含量及藻类生产的增加	8
§ 4. 深水层中溶氧量的变化	14
§ 5. 富营养化与物质代谢	19
第二章 浅海的富营养化 (上野福三)	24
第三章 水质污染与富营养化 (村上彰男)	33
§ 1. 海域中的富营养化	33
§ 2. 濑户内海富营养化的现状	35
§ 3. 富营养化的根源	39
§ 4. 濑户内海的氮和磷的负荷	42
§ 5. 富营养化的进行	45
§ 6. 富营养化的防止	45
第二篇 生态系统的变化与水产增殖	48
第四章 淡水养鱼池中的富营养化界限 (里见至弘、东井纯一、伊藤时夫)	48
§ 1. 不施肥坑塘	48
§ 2. 施肥坑塘	49
§ 3. 投饵养鱼池	52

§ 4. 鱼池中氮的分配比例	53
§ 5. 人为的对策	53
〔附论〕 淡水养鱼池中富营养化的界限(津田 勉、滨田笃信)	58
第五章 浅海增殖的富营养化问题	65
一、紫菜养殖海区问题 (尾形英二)	66
§ 1. 富营养化的优点	66
§ 2. 富营养化的害处	67
〔附论〕 紫菜养殖水域问题 (关 达哉)	76
二、鱼贝类养殖水域问题 (菊地省吾)	82
§ 1. 垂下养殖海区的肥沃度	83
§ 2. 养殖生物的生长与富营养化	84
§ 3. 富营养化对养殖海区环境的影响	86
〔附论〕 鱼贝类增殖中的问题 (关 政夫)	87
第六章 初级生产阶段的生物生产的变化 (吉田阳一)	
.....	92
§ 1. 绪言	92
§ 2. 海域营养等级的划分与各个等级的特征	93
§ 3. 由富营养化引起的初级生产阶段的生物相及生产方式的变化	96
§ 4. 富营养化的现状	102
〔附论〕 初级生产阶段的生物生产的变化	
——作为稀薄稳定系统的海洋 (西泽 敏)	106
第七章 高级生产阶段的生物生产的变化 (上田和夫)	
.....	110
§ 1. 濑户内海富营养化的现状	111
§ 2. 内海的高级生产阶段生物生产的变化	113
§ 3. 内海渔业生产与渔场环境保护指标	121
〔附论〕 高级生产阶段的生物生产的变化 (畑中正吉)	123

第一篇 富营养化的机制

第一章 淡水域的富营养化

坂本 充*

§ 1. 富营养化

富营养化的现象，本来是湖沼学上人们看到的湖沼生态系统的渐进变化，随时间推移从生产力低的贫营养湖向生产力高的富营养化转化的现象。

众所周知，在湖沼学上，按照其生物生产力的大小及其内容、湖水中的化学物质量把湖沼分为几种类型。除了在日本各地所看到的腐殖性营养型湖、酸性营养型、沙漠地方较多的碱性营养型湖之外，世界上的大部分湖沼，都属于调和型湖沼，这类湖沼又可进一步分为富营养湖和贫营养湖两类。调和型湖沼的特征是湖水中的化学成分和生物生产的内容呈调和状态，一、二种特种生物不是常年生产者。但是，在植物初级生产所需水中的营养盐中，特别是氮(N)、磷(P)的量，一般是在植物要求浓度以下，而且依湖的不同而有大的差异，这是影响有机物生产速度的主要因素。

这其中，将水中的营养盐含量少、生物生产力低的湖列为

* 名古屋大学理学部，水质科学研究设施

贫营养湖；营养盐类含量高、生产力高的湖列为富营养湖。贫营养湖一般多分布在山间，湖盆较深，湖水清澈，而且除植物以外，动物生产力也低。与此相反，富营养湖多位于肥沃的平原或盆地，湖盆较浅，由于浮游植物的大量增殖，湖水呈绿色或混浊显褐色。通过食物链的联结，各种动物群体的生产力也较大。细菌的分解活性也高，通过生态系统总体来看，物质的代谢速度也快。在夏季的温度成层期，生物的分解残渣下沉到深水层，在该处进一步继续分解，所以深水层中的溶氧量显著减少，结果对生物活动和各种化学反应产生很大影响。

但是，这样的贫营养湖和富营养湖的状态都不是始终保持不变的。在湖中，将复杂的物质合成和分解，代谢以非常复杂的形式反复同湖外之间的物质进行交换，使湖沼与生物及其环境的性质随着时间的推移渐渐发生变化。一般是，周围所供给的营养盐，在系统内一点一滴地积存起来，其含量渐渐增高，流入的泥沙和生物的分解残渣则沉积于湖底，于是湖盆逐渐变浅。随着这样的环境变化，生物生产力逐步增大，在漫长的岁月中，贫营养的湖沼就转变为富营养的湖沼，即引起富营养化*。在人为影响小的条件下，上述变化完全由自然因素引起，通常其变化速度极为缓慢，需用地质年代计算**。在自然条件下，我们一生所看到的湖沼变化，仅仅

* 在自然条件下，假如富营养化进一步发展，湖盆明显变浅，整个湖面水草丛生，变为沼泽。由于水草的分解残渣沉积，沼泽被迅速填埋，继而经过湿原向草原演变下去。

** 富营养化可分为由完全的自然因素形成的富营养化即自然富营养化 Natural Eutrophication，以及人工作用为主要原因形成的富营养化即人工富营养化 Artificial Eutrophication。现在我们所讨论的富营养化，在所有的场合，几乎都是由人类活动而起着主导作用的。

是这个长期变化过程中的一个片断而已。

但是，近年来由于人类活动增强，向水域供给了大量营养盐的结果，明显促进了上述的变化速度，招致了营养盐类的急速增加和藻类的大量增殖。藻类的急剧增殖，当然又通过食物链和物质循环系统，对构成生态系统的各种要素影响很大。水域生态系统的这种急剧变化，对于不能大规模改变而利用水域的人类来说，当然会带来很多的困难。具体地说有下述几个方面：

(1) 由于浮游生物的增殖，而使湖水恶化，从而减少了作为旅游风景区的价值；

(2) 沿岸水草大量增殖，妨碍船舶航行；

(3) 被用作水源地的湖沼，由于藻类大量增殖，致使过滤池堵塞，发生异臭，并使水的净化工作发生困难；

(4) 直接地由于藻类大量增殖，或毒物的产生，或者由于生物体死后的分解，大量消耗水中的氧，给予水生生物以很大的不良影响。

在湖沼以外的其他淡水水域（贮水池或河流）和内湾水域中，由于人类活动营养盐的供给量增加，也发生了与湖沼中同样情况的藻类异常增殖，引起与其伴生的水域生态系统的迅速变化*，对人类生活也会造成种种不良影响。

所谓自然富营养化和人工富营养化，如前所述，在其发生原因与形成过程及影响上都有大的差异。但是，这两者过去一直被认为，限制生产的营养盐，利用从外围不断供给，

* 自数年以前，这样的营养盐增加和由此起因的水域变化，无论在河流和海洋都称为富营养化。但是仅就富营养化这个术语而言，还不明确究竟意味着变化到某种程度，有时也难以与水质污染区别开来。1969年在美国召开的国际讨论会上，为了避免理解上的混乱，会上建议，富营养化只意味着直接增加水域中营养盐并随之引起的变化，对此统作为富营养化的影响处理⁽¹⁾。

增加其浓度，提高了藻类的生产，由于此种原因，使生态系统的构成和代谢在量和质的方面不断地变化着。在这一点上，可以认为是受同样原理的支配。

因此，我们为了理解水域的富营养化机制，建立防止人为的营养化的有效对策，必须首先注意上述引起一系列变化主要因素的增加营养盐含量的机制，和由此而引起的增加藻类生产的机制，以及它们之间的相互因果关系。本章就是以此为出发点，以湖沼为中心来讨论富营养化的机制问题。

§ 2. 湖水的营养盐含量与藻类生产的意义

现在，在几乎所有的调和型湖沼中，都是靠人为活动输入营养盐来提高藻类生产。也就是说，这些调和型湖沼，是由于营养盐流入到湖中形成的。换言之，这意味着浓度增高的营养盐因子，因原来在湖水中不足而限制了藻类生产。因此，作为理解伴随富营养化的藻类生产增加的基础来说，则首先要搞清楚湖水中的营养盐含量及其影响藻类生产的作用。

表 1.1 日本调和型湖沼与河流水中的主要化学成分含量 (毫克/升) ⁽²⁾

	N	P	Fe	Ca
贫营养湖	0.02—0.2	0.002—0.02	0.02—0.3	1.1—23.4
中营养湖	0.1—0.7	0.01—0.03	0.1—1.1	2.3—21.9
富营养湖	1.3—0.5	0.01—0.09	0.5—0.7	3.4—26.9
河 流	0.05—1.1	0.002—0.23	0.00—2.2	2.4—28.0

	Mg	Na	SO ₄	SiO ₂
贫营养湖	0.8—4.3	0.0—5.2	0.6—24.0	1.1—28.1
中营养湖	0.1—2.0	2.1—6.7	0.8—21.8	3.0—15.4
富营养湖	2.5—11.3	5.6—28.1	0.6—28.6	1.0—41.7
河 流	0.4—8.0	2.1—25.8	1.2—33.9	6.1—54.6

表 1.1 表明日本调和型湖沼与河流水中主要营养盐的含量。氮和磷包括悬浮物在水中总含量是作者于 1956—1960 年获得的数据〔2〕。其他成分的含量,是根据 1925—1957 年之间许多研究者报告的数据汇总而成〔2〕。湖沼分为富营养、中营养、贫营养三个类型,并示出了各个类型的上限值与下限值。

表 1.2 各种淡水性浮游植物对各种化学元素的最低需要浓度 (毫克/升)〔3〕

种 名	研究者	N	P	Fe	Ca	Mg	Na	SiO ₂
<i>Pediastrum Boryanum</i>	Chu〔3〕	0.69	0.045	0.02	0.2	2.4	0.04	2.0
<i>Staurostrum paradoxum</i>	Chu〔3〕	0.85	0.089	—	0.2	4.0	0.0	0.0
<i>Botryococcus Braunii</i>	Chu〔3〕	0.35	0.089	—	0.02	0.0	0.04	0.04
<i>Nitzschia palea</i>	Chu〔3〕	1.30	0.018	—	0.9	0.1	—	0.8
<i>Fragilaria crotonensis</i>	Chu〔3〕	0.26	0.018	—	0.02	0.1	—	19.6
<i>Asterionella gracillima</i>	Chu〔3〕	0.51	—	—	0.18	0.01	—	9.8
<i>Tabellaria flocculosa</i>	Chu〔3〕	—	0.045	0.3	10.0	1.0	—	2.0
<i>Ankistrodes mus falctus</i>	Rodhe〔4〕	5.0	0.2	0.04	0.0	0.1	—	9.8
<i>Microcystis aerogimosa</i>	Gerloff et al〔5〕	6.8	0.45	0.06	0.25	2.5	—	—

表 1.2 为 Chu〔3〕, Rodhe〔4〕, Gerloff 等〔5〕通过单种培养查明多种淡水生浮游植物, 最适生长所需各种元素的最低浓度 (在此浓度以下, 则生长量要降低)。

根据表 1.1 和表 1.2 的比较, 可以推论如下: 氮与磷的含量, 在贫营养湖和中营养湖是在需要浓度以下, 在富营养湖则接近于最适浓度。由于铁在湖水中和在培养液中的存在状态不同, 所以相互比较有困难。镁可能是对一、二种绿藻生育的物质, 但钙、钠在湖水中有足够数量。硅酸盐不论湖的营养程度如何, 表明其含量是在同一范围内变动。但当其

处于最低值情况下，可以预料，将会限制硅藻的生产。但是，在氮和磷最低需要浓度和存在量之差，在与其他成分之差相比较时，在贫营养湖中，特别是前者大，对此必须注意。这个情况表明，在贫营养性的水域中，甚至在大多数中营养性的水域，氮和磷成为最重要的限制因子的可能性最大。那么在实际的湖水中，藻类生产与氮磷之间究竟存在着何种关系？图 1.1 为除 8 月份外，在夏季水温成层期，由各种湖沼、池塘、人工湖的表层水得到的结果〔2〕，表明水中的总氮、总磷量与浮游植物的现存量（以叶绿素量求出）之间的关系。湖水中的总氮、总磷量愈多，浮游植物的现存量也愈多。

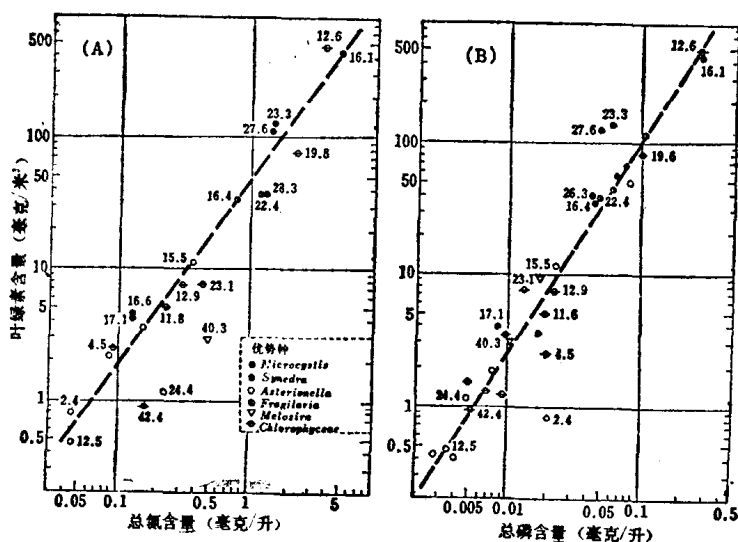


图 1.1 夏季（8 月除外）表层水中的浮游植物的现存量（以叶绿素量测定）与水中的总氮或总磷量的关系

图中的小数字为水样的氮/磷重量比〔2〕

图中用小数字表示, 湖水中的氮磷比在大部分水域中其变动幅度狭窄, 处于 10/1—25/1 的范围, 而且在这个变动幅度中, 氮量、磷量与浮游植物现存量之间, 构成了明显的直线关系。

图 1.2 表示由图 1.1 给出的结果, 在同时期、同一表层水样得到的饱和光 (光照 10—20 千米烛) 下的光合成量和

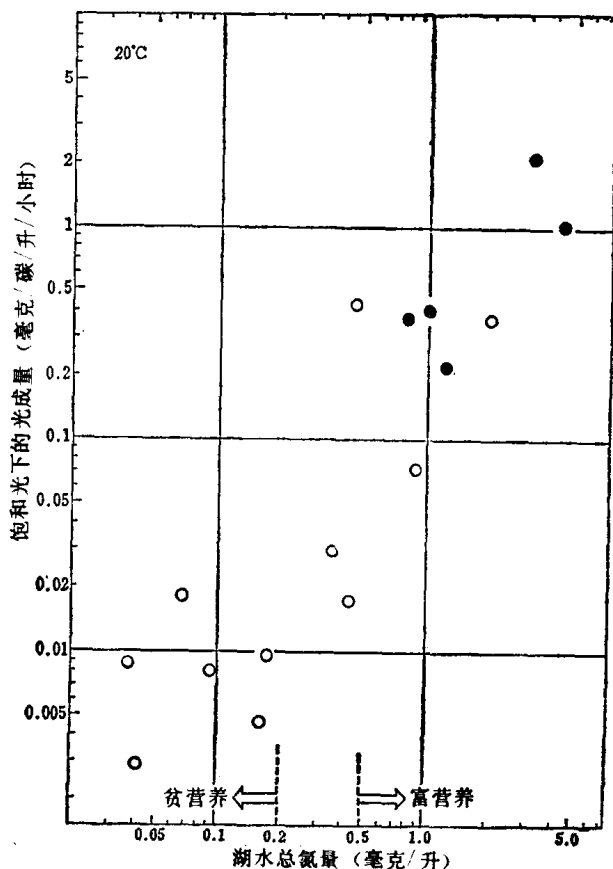


图 1.2 夏季几个湖的表层水, 在饱和光下 (10—20 千米烛) 的光合成量与水样的总氮量的关系

●: 微囊藻 (*Microcystis*) 水华形成的水域

水中总氮量之间的关系。与现存量相同，光合成量是随水中总氮量增加而增大。图 1.1 与图 1.2 的结果，表明在日本调和型湖沼中，水中的氮磷含量低，确实限制了藻类生产。

因此，假如在这些水域中，湖水中的氮或磷量有所增加时，当然可以认为，不能不形成某些增加初级生产量的条件。根据图 1.1 来考虑，假如氮或磷量的增加是在氮磷比为 10/1—25/1 的变动范围内发生时，则藻类的现存量增加大致会随着图 1.1 的直线关系而发生。但是，这里需要注意的是，在富营养化过程中，造成藻类生产增加的营养因子不单纯是氮或磷的绝对量，这些营养盐在水域生态系统内的代谢速度、存在形式，或供给方式均具有重要的意义。另外，共存于水中的物质，支配着营养盐的利用率或形成生长促进因子，这对藻类生产影响极大。来自城市、农田及工厂的废水中，含有种种形态的营养盐，其比例也是各式各样的。同时也有可能包括起上述作用的各种物质。关于这个问题将在最后一章进行讨论。

§ 3. 营养盐的含量及藻类生产的增加

在进行富营养化中的水域，从过去到现在营养盐含量和藻类生产是如何变化的，这里以具有代表性的富营养湖諏访湖和贫营养湖琵琶湖为例，来说明这两个类型湖的变化过程。

长野县諏访湖，湖盆浅，位于肥沃的盆地，流域面积大，因此本来就具有高度富营养湖的特性。由于以此湖为中心的周围地区交通方便，第二次大战前制丝工业很发达，战后又发展了精密机械工业、食品工业，而作为新兴工业城市人口也开始迅速增加。来温泉疗养的游客也相应增加，由城市和工厂排放到湖水中的营养盐也日益显著增加。