

# 海洋生态动力学模式

## MARINE ECODYNAMICS MODELLING

王海黎 洪华生

(厦门大学环境科学研究中心 361005)

近 10 年来,大型国际性海洋研究课题层出不穷,如:WOCE, TOGA, JGOFS, LOICZ, GLOBEC, LME 等,主角已逐步从物理海洋学、化学海洋学,转向生物海洋学。模式研究的重点也发生相应的转移,突出表现在伴随着 GLOBEC 计划的出台,兴起了海洋生态动力学模式的研究热潮。人们希望借助模式,既可以定量、动态地了解海洋生物资源量及其分布,又能够根据环境因子的变动和生态系统内部各种生物间的相互作用,在一较长的时间尺度内,准确地预测各级生物资源库的含量水平,并可根据实际反馈的信息及时作出科学的决策。

### 1 海洋生态动力学模式

#### 1.1 概念与分类

生态动力学模式是阐明生物体的数量、分布和变动与食物条件、摄食和非生境的变化之间的关系的研究方法<sup>[5]</sup>。从中不难看出,海洋生态模式研究的核心问题是海洋生物资源量的变动,着眼点便是相互耦合的物理-生物过程;同时也强调了模式是海洋生态系统的研究方法之一,尽管不能完全替代现场工作,但是模式在海洋生态系统动力学的研究中有举足轻重的作用<sup>[3]</sup>,它可以为现场观测提供指导,回答诸如“需要进行哪些观测”、“采取何种方案”、“在什么条件下进行”等问题。

海洋生态系统动力学模式主要包括两大类:质量平衡模式和模拟模式。质量平衡模式能够通过研究,给出一张生态系统内部各主要功能单位间物质和能量年通量的静态平衡示意图;而模拟模式则描述一系列随时间和状态变量发生变化的通量,因此,模拟模式包含运动维度。

同时,这两种模式在系统方法上具有以下共同点:

(1) 将研究体系封闭,确定边界条件;(2) 考虑与体系外部环境间的物质和能量交换;(3) 在解释整个生态系统的行为方面起着主要作用的功能单位或“组件”(如,浮游植物、浮游动物、限制性营养元素、海洋微生物等)要明确,其他对系统作用较小的则在分析中被剔除;

(4) 建立功能单位间的联系途径,经此进行物质、能量和信息的流动。

#### 1.2 发展简史

海洋生态系统动力学模式研究起始于本世纪 40 年代末的欧洲。当时,产生了以竞争及捕食-被捕食作用为核心内容的新的生态理论,在此基础上,Riley 等建立了第一代的生态动力学模式。从此,生态系统研究具有了精确表达功能单位间相互作用的数学模型作为研究载体,使得海洋生态学发生了从定性化到量化的根本转变。

在此之后,尤其是 50 年代末至 80 年代前期的 20 多年,生态动力学模式有了飞速发展,它们均可看成是 Riley 模式的“子代”,对生态系统结构的描述更加详细,起先是解释浮游植物生产,以后逐渐发展到能覆盖更多营养级,来描述食物链中碳的转移及所有营养级的生产力。这时期,子代模式也基本上沿着 3 条主线,各有侧重地发展着:一是侧重营养盐循环与低营养级微生物的相互关系,如 Billen-Foutigny 模式<sup>[2]</sup>;二是侧重于初级生产与次级生产,如 Horwood 模式<sup>[6]</sup>;还有一类是描述鱼类生产和种的结构与初、次级生产关系的模式,如 Anderson-Ursin 模式<sup>[1]</sup>。

进入 90 年代,GLOBEC 计划的出台是海洋生态动力学模式发展史上的飞跃。它强调物理-生物过程的耦合作用,认为模式研究应建立在整个生态系统的水平上。突出浮游动物的作用,以其为中间媒介,构筑起定量描述初级生产力与鱼类资源及其他生物源之间的关系的动力学模式。在时空尺度上,新型耦合模式将既有微观水平上的延伸,又有宏观水平上的拓展。

#### 1.3 研究方法和手段

由于动力学模拟模式日渐成为海洋生态学模式的主流,本文将着重介绍此类研究的方法和手段。动力学模拟模式可以做到模拟一个或多个状态变量随时间的

收稿日期:1995年6月2日

变化。有的模式中不考虑空间项,有的则考虑1~3个空间维度。

一般来说,生态动力学模式研究遵循图1步骤进行:

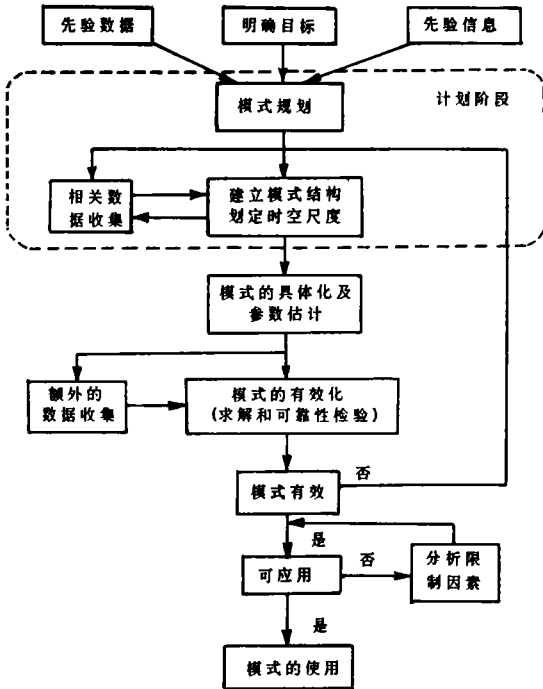


图1 建立模式的步骤

模拟模式中均包含描述状态变量随时间变化的微分方程。现有的生态动力学模式中所用的数学模型基本方程绝大多数为常微分方程(ODE),少数为偏微分方程(PDE),原因主要在于常微分方程要简单得多,且具备许多较为成熟的数值解法。常微分方程一般以直接显式法或隐式朗格-库塔法求解;偏微分方程则以显式有限差分法或交互隐式法求解。

绝大多数模式的计算机程序是用FORTRAN编写的,近来也有少数程序使用PASCAL,70~80年代的模式基本上运行于主计算机(中、小型机),随着个人计算机工作能力的飞速提高,以个人机来运行模式,甚至开发出适用于个人机的生态模式软件包正成为一种趋势。

由9家研究机构合作进行的欧洲区域性(北海)海洋生态模式(ERSEM)是迄今较为成功的生态动力学模式之一。在建立模式的具体方法上,取得了一些成功经验<sup>①</sup>:

(1) 可兼容的软、硬件环境;(2) 标准模式的结构要逻辑化,将整项工作分解成几个概念上相对独立的子

模;(3) 模式工具方面,数学算法要规范,子模间的联系和整合自动化,并提供结果处理的标准方法;(4) 变量代码惯例应使子模间界面普遍化;(5) 建立提交和测试新子模的方案;(6) 通过质控(QC)系统进行模式各要素间的校正。

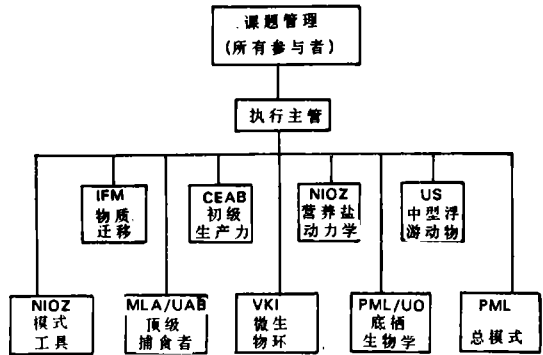


图2 欧洲ERSEM计划组织

(仿 Blackford J. C. and P. J. Radford)

课题参与单位:CEAB 西班牙布拉内斯高级研究中心; IFM 德国汉堡海洋研究所;MLA 英国阿伯丁海洋实验室;NIOZ 荷兰海洋研究所;PML 英国普利茅斯海洋实验室;UAB 英国阿伯丁大学;UO 德国奥登堡大学;US 英国斯特拉斯克莱德大学;VKI 丹麦水质研究所

#### 1.4 不足之处

海洋生态动力学模式研究虽然已经有40多年的工作基础,但仍然是一个新兴的研究领域,不可避免地存在着某些不足之处,主要体现在:

(1) 模式正向着结构愈来愈复杂的方向发展,即便如此,仍不能全面地反映实际海区中发生的主要过程;尤其是生态动力学模式的功能单位中极少包含鱼类,尚无法达到从最低营养级(初级生产者)到终极产品的“全跨度”,使得现有模式与生态系统的真实状况存在一定差距。

(2) 海洋生态动力学模式与有针对性的现场观测和模拟实验等工作是互相促进的。由于后者数据匮乏,往往无法向模式提供理想的参数,降低了模拟结果的准确性,突出表现在模拟结果仅能在某一时段内与实际值有良好吻合。

(3) 理想的生态动力学模式在应用范围上应具有普遍性,但是这一要求很难与现实性、准确性同时实现。

<sup>①</sup> Blackford, J. C. and P. J. Radford. 1995, *Neth. J. Sea Res.* (待刊)

ERSEM 的第二阶段计划将在这方面作一些尝试,设想使其可以应用于任何温带陆架海域或浅海生态系统<sup>①</sup>。

## 2 我国的发展对策

应当看到,海洋生态系统动力学模式研究在我国仍属空白,而国外学者已经“先行”40余年。一方面,作为国际海洋科学发展的前沿领域,海洋生态动力学研究正日益受到重视,各项计划层出不穷,方兴未艾。若不及时启动我国的海洋生态模式研究,差距会继续急速拉大;另一方面,动力学模式又是定量描绘和分析海洋生态系统各级资源量的唯一有效的科学工具。在我国海洋环境质量呈恶化趋势,渔业、生物资源日渐衰退的情况下,开展海洋生态动力学模式研究又具有重要的现实意义及应用价值。因此,笔者综合国外研究进展及国内现有条件,提出如下发展对策:

### 2.1 立足于近海

全球海洋生物生产量的1/4及渔业资源的近70%集中在仅占世界海洋总面积8%左右的近、浅海区。我国的海洋国土约 $300 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,生物资源十分丰富。但随着人类活动影响力度的加大,水质下降,富营养化、赤潮灾害日趋严重,加之过度捕捞,渔业资源量锐减。因此,近海生态系统动力学研究对于环境变化及海洋生物资源的合理开发利用均具有重要意义。在选择生态动力学模式研究的典型海域时,就必须立足于近(浅)海区域。令人欣慰的是,“近海海洋物理环境和生态系统动力学”已成为国家基金委地学部所确定的八项重大研究之一,近海生态系统的分析及模拟与预测是其中的重要研究内容。

### 2.2 重点放在中尺度过程研究

越来越多的研究表明,在较小的时空尺度上,海洋浮游生物生产主要受控于生物过程;而在较大时空尺度上,物理过程起主控作用<sup>[3]</sup>,在中尺度环境中,生物过程与物理过程同样重要,耦合作用于浮游生物生产。生物-

物理过程的相互作用是海洋生态动力学研究的着眼点,与此相适应,动力学模式研究应将时空范围主要落在在中尺度上。因此,应当在建立生态动力学模式的过程中,着重考虑典型中尺度物理过程。如:垂直混合、锋面、上升流、涡流、内波和开尔文波等;生物过程则应从种群、群落的水平来考察其对物理过程的响应。

### 2.3 依靠多学科交叉联合攻关

海洋生态系统动力学模式是个新兴的跨学科的研究领域,需要物理海洋学、生物海洋学、化学海洋学和资源生物学的有机结合。欧洲ERSEM计划提供了一个多学科交叉、多单位联合的成功范例(图2)。

我国此项工作的底子薄弱,就更应该走多学科交叉合作研究的道路。考虑到物理海洋学模式研究有较扎实、雄厚的工作基础,因此,可以先由物理海洋学家建立模式的主体框架,其他学科充分发挥现场观测和实验模拟的优势,提供必要的和可靠的参数,共同加速模式的发展。这不失为紧跟国际前沿,缩小与国外同行差距的一条捷径。

## 参考文献

- [1] Anderson, K. P. and E. Ursin, 1977. *Medd. Fra. Danm. Fisk. Havunders.* N. S. 7: 319-435.
- [2] Billen, G. and A. Fontigny, 1987. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 37: 249-257.
- [3] Daly, K. L. and W. O. Smith, Jr., 1993. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 24: 555-585.
- [4] Eckman, J. E., 1994. *Deep-Sea Res.* 41: 1-5.
- [5] Fransz, H. G. J. P. Mommaerts *et al.*, 1991. *Netherland J. Sea Res.* 28: 67-140.
- [6] Horwood, J. W. 1974. *ICRS C. M.* 1974/L 19: 1-10.

① Radford, P. J., 1994. *LOICZ MEETING REPORT* 5: 31-34.