



## 世界海面变化研究的进展

杨怀仁 杨达源

(南京大学地理系)

海面变化是地球科学重要理论问题之一，对人类有直接和间接影响。海洋学，地质学，生物学和考古学等有关学科都十分重视海面变化研究。近十余年来，由于有关科学技术的迅猛发展和广泛应用，海面变化的理论如同其他自然科学一样，其“知识陈旧周期”日趋缩短。

### 一

“海面变化”包括短期变化和长期变化。前者有日变化、季节性变化和偶发性变化等，海面升降的幅度通常比较小；后者指地质历史上的变化，以及晚新生代尤其第四纪冰期和间冰期的海面升降变化。地质史上的海面变化，近年从地层学及古地理学进行分析研究，对侏罗纪和白垩纪的海面运动旋回，运动的曲线型式及海面升降运动的机制等取得了一系列成果。现有资料说明，侏罗纪和白垩纪时未发现大冰流，海面升降旋回主要与中脊体积的增长、收缩，海底扩张速度的快慢及造山或造陆运动的强弱有关。当海底扩张的速度加快，中脊增长，海洋盆地的容积减小时，发生海侵；当海底扩张速度减小，中脊萎缩，或者由于造山运动，大陆受到推挤，海底的面积和海盆容积扩大时，发生海退。由上述原因而引起的海面升降运动，属于构造海面变动 (Tectono-eustasy)。初步认为白垩纪时代，曾经发生十三次海侵。白垩纪中期为一主要海底扩张时代，当时海侵范围达到最大，海面上升幅度可能达300米之多。

第四纪海面，主要由于气候的变化，以及大陆地壳和海洋地壳的构造运动而呈多旋回性的升降。

第四纪冰期中，冰期及间冰期的交替，对地球表面发生三种显著的直接影 响：一是在冰流覆盖区及其外围的地壳均衡运动；二是海面的升降运动；三是大量融冰引起海底的水力均衡运动。以上三种都足以影响世界海面发生变化。

由冰流的发展和融化，海底的水力均衡运动等原因所引起的全球性的海面升降运动，即我们所经常引用的“海面变化” (Change in eustatic sea level)。它表示出一定时间内海水量的变化与海洋面积的比例：

$$D(t) = V_o(t)/A_o$$

式中：D(t) 为海面高度的变化，V<sub>o</sub> 为海水量的变化，t 表示时间，A<sub>o</sub> 为海洋面积。这种海面变化 (eustatic) 即指海洋表面与地心之间距离的变化。

另一种为相对的海面变化，即指某一特定地点，海面与海底间垂直距离的改变。相对的海面变化是在全球性海面变化的背景上，由于某地受局部的地壳构造运动、均衡作用，沉积物的压实作用等因素的影响，而出现的海面变化。

### 二

海面变化使原来的海岸平衡条件被破坏，对地貌和沉积动力有明显的影 响。海面上升，巨浪直拍海岸，岸边原有的工程建筑遭到侵袭。为此往往不得不耗费大量资财，修建防波堤及海塘等一系列保护性工程。

如果海面下降，将出现滨岸流增强，泥沙输送量加大，洲滩迅速向海推进等，整个海岸带大为改观。在人类活动中，深水航道的问题就很突出。

近代海面，经过距今 10,000—7,000 年间的快速上涨以后，近 4,000—3,000 年以来，虽然仍有波动，但已趋近稳定。海岸带发育的总

趋向是力图达到新的平衡,以适应全新世以来的高海面:突入海中的岬角多数正在蚀退,海滩在经历调整改造;多数海湾正在受沙嘴的阻塞;沉溺的河口段正在淤积,具有恢复较为平直海岸的趋势。

新第三纪以来,总的海面趋于下降,到了第四纪,为中生代以来最低海面时期,这时期由于地球气候的波动而高低海面更替。据目前的研究,我国沿海曾发生8—9次以上的海侵,若考虑第四纪亚间冰期海面的上升,则高海面次数还远不止此。多次的高海面过程,促成一片宽阔平缓的滨海平原。当气候进入冰期,海面比今低约100米左右,陆架大部分暴露,为一强盛的浊流堆积时代。研究这种堆积的形成机制与分布规律,在石油的普查与勘探中,具有十分重要的意义。

沿海及海底一些矿床的成因、品位和储量以及分布规律,受海面变化的影响也十分明显。如非洲西海岸,深百余米的海底,布有具工业价值的金刚石砂矿。在我国辽鲁沿海也应考虑这种类型的金刚石砂矿。阿拉斯加的诺姆附近,有大量砂金矿分布在埋藏河谷中,为相对低海面时期的河流沉积砂矿。我国南海北部湾一带,也有第四纪低海面时期的古滨海砂矿和埋藏古河床砂矿。

海涂的淤涨增长或冲刷蚀退,主要与河流输沙与海域来沙有关,同时也受相对海面变化的影响。当海面相对升高时,沼泽湿地必将侵袭沿海耕地。例如美国东部的代拉瓦尔地区,每世纪海面相对上升约半英尺,引起土地的沼泽化。

从自然环境的演变而论,海面变化,气候变化,生物迁移,沙漠的扩大等,往往互相影响。近年为了预测自然环境发展的趋向,各种自然因素的交互影响及其间的正负反馈关系,正日益引起重视。

由于以上种种自然因素的内在联系,特别是为了能预测未来海面变化、气候变化及其影响,目前地貌学及第四纪地质学都十分注意全新世的研究。其中全新世海面变化的研究已引起国际学术组织的重视,如国际地质相关计划

(IGCP)设立了全新世海面变化专题研究项目。随着海面变化研究的逐步深入,其理论价值将越来越显著。

### 三

海面变化的理论最早由维也纳地质学教授休斯所创立。他的“地球的面貌”(1883—1908)三册巨著被誉为莱伊尔之后最伟大的著作,是十九世纪地球科学的总结,其中影响后世最久的内容之一,是海面变化学说。休斯1906年提出“海面变化”一词,意指全球性的海面变化。他认为地质史上主要的海侵和海退是由海洋盆地容积的变化所引起的,并从现代海岸线、沉积、古海洋分布范围等三个方面进行研究。

休斯的海面变化理论,对地层学及地貌学的影响在三十年代达到了高峰。一些著名的地貌学家,地质学家及古生物学家把很多地质现象、地貌现象都用海面变化来解释,而大陆地壳构造活动性的理论认识几乎被海面变化的学说所掩盖。如鲍利在1928年出版的“法国中部高原”一书中称380、280、180米高的侵蚀面系上新世高海面所成。伍德吉据英国剥蚀面提出上新世海面高于现代约183米。而谢珀德认为,海底峡谷系海面大幅度下降千余米时所形成。

总之,二十世纪前半期由于对海面变化的复杂性不够了解,同时对地壳构造运动也理解不深,一些地貌学家期望以海面变化理论来阐明地貌发育的过程,并试图把沿岸阶地与河流阶地对比,进而作世界性的对比。这些努力都没有取得成功。

六十年代以来由于新技术的应用及其他学科的发展,海面变化研究进展很快。其中关于海面变化的机制,分析比较透彻,并提出了一系列新的概念。归纳起来是两大类:第一,海面变化,即指世界性海面升降(eustasy),包括:1.冰川-海面变化(Glacio-eustasy);2.构造-海面变化(Tectono-eustasy);3.大地水准面-海面变化(Geoidal-eustasy);4.海洋中的沉积作用;5.原生水;6.海洋水温度的变化;7.大陆湖泊的变化;8.

海底火山作用；9. 浅海海水的移注。第二、相对海面变化，包括：1. 局部性的地壳运动；2. 压实作用；3. 局部沉积作用；4. 生物的影响；5. 人为的活动等。其中对世界性海面升降，头三种是主要的。

#### 四

地球表面水的分配，约98%贮存于海洋，约2%存于陆上，只有微小一部分存于大气中（表1）。所以大陆上的冰体与海洋水的交换或循环成为世界海面变化的关键。

世界现存冰川体积（折合水量）为  $24.06 \times 10^6$  立方公里（表1），冰期中则达  $71.36 \times 10^6$  立方公里（表2），即海洋失去  $47.30 \times 10^6$  立方公里的水量，相当于世界海面降低132米，即第四纪冰期中海面较现今低132米（若考虑海底均衡下沉，按回升水层厚的三分

之一计算，海面实际升降量便不是132米，而是92米）。（也称弗兰德林间冰期），但格陵兰及南极冰流仍然存在，所以说仍然处在晚新生代或第四纪大冰期内（地史上以格陵兰及南极没有冰流才是非冰川时代）。对一个没有冰流存在的地球而言，冰期中海面下降应是200米。所以当地球未进入晚新生代冰期前，海面应高于今日。十余年前，一般著作引用佐纳尔（Zeuner）的论点，认为上新世存在比今高200

表1 世界水量分配\*

| 类 型       | 容 积<br>( $10^6$ 立方公里) | 占总量的百分数<br>(%)    |
|-----------|-----------------------|-------------------|
| 海洋中的水     | 1,350                 | 97.6              |
| 河流、湖泊、地下水 | 8.6                   | 0.6               |
| 冰川(折合成水量) | 24.06                 | 1.7               |
| 大气中的水     | 0.013                 | 少量                |
| 合 计       | 1,382.673             | 99.9 <sup>+</sup> |

\* 引自弗林特1971年资料

表2 冰期(G)与现代(T)大陆冰总量对比\*

| 1               | 2   | 3                     | 4           | 5                       | 6                       | 7               |
|-----------------|-----|-----------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|
| 冰 川 冰 流         | 时 间 | 面 积<br>( $10^6$ 平方公里) | 厚 度<br>(公里) | 冰 体 积<br>( $10^6$ 立方公里) | 折合水体积<br>( $10^6$ 立方公里) | 相当的海面<br>升降值(米) |
| 南 极 冰 流         | T   | 12.53                 | 1.88        | 23.45                   | 21.50                   | 59              |
|                 | G   | 13.81                 |             | 26.00                   | 23.84                   | 66              |
| 格 陵 兰 冰 流       | T   | 1.73                  | 1.52        | 2.60                    | 2.38                    | 6               |
|                 | G   | 2.30                  | 1.52        | 3.50                    | 4.01                    | 11              |
| 劳 伦 泰 德 冰 流     | T   | —                     | —           | —                       | —                       | —               |
|                 | G   | 13.39                 | 2.20        | 29.46                   | 27.01                   | 74              |
| 科 迪 勒 拉 冰 流     | T   | —                     | —           | —                       | —                       | —               |
|                 | G   | 2.37                  | 1.50        | 3.55                    | 3.25                    | 9               |
| 斯 堪 的 那 维 亚 冰 流 | T   | —                     | —           | —                       | —                       | —               |
|                 | G   | 6.66                  | 2.00        | 13.32                   | 12.21                   | 34              |
| 其 他 冰 川 冰 流     | T   | 0.64                  |             | 0.20                    | 0.18                    | 0.5             |
|                 | G   | 5.20                  |             | 1.14                    | 1.04                    | 3               |
| 合 计             | T   | 14.90                 |             | 26.25                   | 24.06                   | 65              |
|                 | G   | 43.73                 |             | 76.97                   | 71.36                   | 197             |
| 冰期与现代的差值        |     |                       |             | 50.72                   | 47.30                   | 132             |

\* 引自弗林特1971年资料

米的海面，到第四纪海面逐步下降；第四纪海面变化是叠置在这种逐步下降的基础上的。经过多年研究，这种观点并不正确，因为上新世时，南极、格陵兰及冰岛等地和一部分高山地带，冰流及冰川已经存在。

根据冰流来推算海面变化的幅度，存在着一些产生错误的潜在因素。近年应用雷达遥感，对南极冰量的估算作了修正。但对冰期中北美劳伦泰德冰流、北欧斯堪的那维亚冰流的厚度估算仍不够精确。对这样巨大的已经消失的大冰流复原，只根据冰川地貌来估算冰流范围和直径、据冰后期地面的均衡回升量来估算冰流的厚度是欠精确的，因为大冰流并非同时发生，也非同时消融。所以近年据冰量变化估算的海面变化幅度，比过去精确，但仍不是最后的数字。

现存世界的冰流冰川冰的总量，99%分布于南极及格陵兰，其中南极冰流占现存冰量的89%，格陵兰占10%，北极及其他高山地区的冰川总量还不足1%。若南极与格陵兰的冰流全部融化，将使世界海面上升65米，消除海底的均衡下沉量之后，海面上升量约为43米。但如上述，第四纪以来虽在间冰期中南极冰流曾发生波动，但并未大量消融，所以海面上升43米的情况，在近几个间冰期中没有发生。

总的来看巨大的南极冰流自晚新生代形成以来一直比较稳定，但其西部冰流的稳定性较差，有些研究者认为有可能引起数米的海面上涨，对世界沿海地带有潜在的威胁。据J. H. Mercer等研究，如世界化石燃料的消耗量按目前的速度继续下去，50年后大气中CO<sub>2</sub>含量将成倍增长，使高纬地带气温增高，结果会促使西部南极洲的冰流迅速融化而使世界海面上升5米。威尔逊（1964，1969）提出关于南极冰流的溢流学说，部分冰流溢流到周围海域，并经崩裂融化而使海面上升。这一学说得到了许多学者的重视和支持。

## 五

自从新构造运动的概念确立以来，世界许

多地方过去所认为的第四纪高海面，往往是局部构造抬升的结果。如我国台湾台东附近35米高显示古海面高度之遗迹，时代为距今6132±184年，另一处34米高的遗迹，时代为距今1950±59年；台湾北部1米高的遗迹，时代为距今约8020年；台湾南部20米高的遗迹，时代为距今约5040年。可见是新构造断块差异运动使古岸线出现参差不齐的高度差异。

过去根据地中海沿岸阶地所拟定的“海面”名词，如卡拉布里（Calabrian），米拉奇（Milajjian）等。这些名词本是生物地层上的名词，用以代表海面并不妥善；用以与阿尔卑斯冰期作对比，更没有充分根据；实际上已经造成一些混乱。另外，过去根据这些地中海沿岸阶地分布高度的变化，来论证第四纪以来各次间冰期海面高度依次递降，显然亦不正确。因为地中海周围新构造运动强烈，沿岸阶地均已变形。

在这种情况下，一些研究海面变化的科学工作者，力求寻找世界稳定海岸区来探索海面变化的幅度和过程。事实上所谓“稳定海岸”也只是个相对概念，它到底稳定到什么程度也难以确证。为此，目前海面变化研究，重点已渐渐移到设法消除构造运动对遗迹分布高度的影响，而求得真正海面变化数值。

地球表面冰流覆盖地区，因冰流重压而地面下沉。由于密度的不同，地面下沉量约为冰流厚度的三分之一。当气候转暖，冰流融化，地面又发生均衡回升。这种冰川均衡作用，包括弹性变形（Clastic deformation）和粘滞性松弛（Viscous relaxation）。其中弹性均衡作用（Elastic isostasy）为地壳对负荷变化的短时间内发生的反应，而粘滞性松弛是指壳下地幔物质的缓慢变动。冰期中冰流中心厚度最大，冰后期地面回升量也最大。如北美哈德逊湾东南为古加拿大冰流中心部位，冰后期地面回升量达250米之多，而原冰流边缘仅回升50米左右；且其均衡回升的初期，哈德逊湾附近的上升速率高达每世纪10米，外部地带仅每世纪3米；近代上升仍以哈德逊湾附近为最快，

每世纪约1.3米；预测这种均衡回升全部结束后，哈德逊湾将不复存在。受这种冰川均衡作用影响明显的地带，海面变化曲线呈独特的型式，在冰流消融的初期，地面均衡回升的速度往往超过海面的上升，因而显示“上升海岸”特征。之后，海面上升量将超过地面均衡回升量，而呈现“下沉海岸”面貌。

水力均衡作用还是不久以前才有所认识的。事实上地壳对于短时间负荷的变化，反应是相当灵敏的。一台精度较高的地倾斜仪可以记录一公里以外海滩上因潮水涨落而引起的地面周期性的倾斜变动。许多学者都认为间冰期海洋水量的增加可以导致海底下沉，也影响大陆架及其陆缘地带的地壳变动。近年关于水力均衡作用(Hydro-isostatic effect)变化研究的意义是：第一，使我们认识到陆地和海岛有不同的相对海面变化幅度；第二，世界各地盛冰期时最低海面位置的目前水深并不一致；第三，它引起大陆架变形和影响大陆架沉积岩相的分布；第四，陆缘地带存在着掀升及沉降的枢纽带，而且枢纽带也可能发生迁移，等等。

## 六

从现有海面变化研究的成果来看，世界各地海面变化曲线有明显差异。这种差异部分是由实验精度不够、取样位置不一等人为作用造成的；部分是由局部地形及沉积物结构和压实的变异等造成的。然而它们在很大程度上反映了各地海面变化过程的本来面貌。内中有部分是由于局部构造运动的差异所造成的。在消除了构造变形及均衡作用的影响之后，各地海面变化曲线仍有所不同。这种不同往往包含两个方面：一是有规律的趋势性变化；二是规律性不很明显的相对为突发性的变化。基于这种事实，近年又提出了“大地水准面-海面变化”的概念，并把它与冰川-海面变化和构造-海面变化二者并列为全球海面变化的主要原因。

一般称海洋的表面为海平面，事实上它除了固有的曲率之外，还有地区性的“隆丘凹陷”，真正的海面是起伏不平的，称为大地水

准海面(Geoidetic sea level)。大地水准海面的起伏不平主要与重力的不均有关，亦即与地球的构造，密度，流变学以及转动的变化等有关。

地球的大地水准海面在地史上曾发生多次变化，更新世晚期有变化，在全新世也还有变化。近代大地水准海面起伏型式，包括新几内亚附近+76米的隆丘，马尔代夫岛附近-104米的凹陷，在经度 $50^{\circ}$ — $60^{\circ}$ 距离内差距达180米的起伏等。

综上所述，可简略作出以下几点结论：

1. 侏罗纪、白垩纪时期的海面升降，主要与中脊的胀缩、海底扩张的快慢及造山或造陆运动的强弱有关。

2. 中-上新世时海面比今高，我国东部以至华中地区，如长江中下游60—100米左右的侵蚀面和阶地，可能与冰前期的高海面有关系，但它也已遭受构造变形，好多地方已被深埋。但是不存在上新世比今高出200米的高海面。我国福建、台湾、胶辽等地海拔200米以上的海蚀现象，为新构造运动的结果。

3. 第四纪时期的海面高度是中生代以来的最低海面。在这时期，它主要由于气候波动，冰期间冰期及亚冰期亚间冰期的交替，而出现过许多次高海面。据我国华北地区的实际资料，第四纪中出现过8—9次以上的主要高海面。过去以地中海沿岸阶地代表的第四纪4次海面变化，以及它们与阿尔卑斯4次冰期旋回对比的观点，必须予以纠正。

4. 世界大陆架上或坡缘地带古海岸的现代水深，要消除多种构造因素包括均衡作用的影响之后，才能得知真正有代表性的海面变化数据。我国东海陆架前缘15,000年前-150—-160米左右的低海面，是海水量增加、海底的构造和均衡下沉，松散沉积物的压实作用等共同造成的结果。我们据华东地区的研究成果，恢复最近一次盛冰期古地貌，认为上次盛冰期最低海面比今低约100米。

5. 世界各地海面变化曲线有差别，它们在很大程度上反映了世界各地海面变化情况的

不一致性。其中比较突出的是构造差异运动的影响,还有如大地水准海面的变化等。如果仅仅把各地有关海面变化的直观数据拼凑起来,编制海面变化曲线,我们认为是不妥善的。

6. 在太平洋地区,存在着6米左右的古海面(高度各地并不一致),即所谓“戴利岸线(Daly shere line)”。英国气候学家布鲁克斯认为它属全新世气候最宜期。近年研究,一些太平洋岛屿6米的高海面系里斯-玉木间

冰期产物。就是说,全新世气候最宜期是否出现过6米左右的高海面,还有疑问。与此同时,过去认为第四纪各次间冰期海面高度,由老到新依次下降,差距可达数十米至百米左右的说法,也是不正确的。

总之,海面变化研究是一多学科性的复杂问题,要靠不同学科共同深入钻研才能得到合理的解释。如果我们能这样做,我国海面变化研究必定将取得更大的进展。

目前世界上已  
养殖或正在试验的  
鲮鱼种类近二十余  
种。其中以鲮鱼  
Mugil cephalus  
分布最广。它食物  
链低、适盐性广及  
生长快,已成为很

多国家咸水和半咸水水域的主要养殖或试验养殖对象,其生产潜力业已引起各国的重视。

近年来鲮鱼人工繁殖研究尤着重于人工诱导产卵和育苗技术的研究,现在人工诱导产卵技术已较为完善,但尚需进一步探讨生态因子对性腺成熟的影响等问题,以期提高催产效果;而育苗技术将为今后主要研究内容,旨在以最快速度突破苗种关,为大面积养殖提供物质基础。

## 一、人工诱导产卵的研究

### (一) 催产剂

二十余年来各国学者所采用的催产剂种类及剂量虽不尽相同,但均能达到催产目的。已知的种类有:梭鲮脑下垂体;鲮脑下垂体;鲤鱼脑下垂体;太平洋鲑鱼脑下垂体;鲑鱼脑下垂体加西那荷林;提纯的鲑促性腺激素;哺乳动物激素如人体绒毛膜促性腺激素;鲮脑下垂体加西那荷林+维生素E等,其他促性腺激素,如促卵泡成熟激素(FSH)、脱氧皮质甾酮醋酸盐(DDCA)、雌酮(estrone)、雌二醇(estradiol)对活体进行诱导产卵试验,均有一定

## 鲮鱼人工繁殖研究的现状和动向\*

张 寿 山

(福建省水产研究所)

效果。

### (二) 诱导产卵操作程序

1. 选取腹部稍大、肛门稍突出、泄殖孔周围红润等性征明显的成熟亲鱼。

2. 为了使催产把握性更大,在注射前用采卵器取出卵标本,冲洗后保存于含1%福尔马林的0.6%NaCl溶液中,测定卵母细胞直径。采卵器插入的深度视卵巢的长度而定,一般深度距生殖孔约6—7厘米。从卵巢中部取出的卵母细胞较有代表性。

3. 当卵母细胞充满卵黄,平均直径超过650微米,至少在600微米以上,即可进行注射(Kuo, 1974)。

4. 注射,据Donaldson等(1972)报道,1毫克提纯鲑促性腺激素等于人体绒毛膜促性腺激素2150国际单位。激素用量因催产鱼的开始平均卵径而异,每克体重在12—21微克之间。我国台湾省使用2.75—5个鲮鱼脑下垂体(丙酮保存的脑下垂体干重为1.8—10.5毫克,鲜重为8—34.2毫克)加20—50兔单位的西那荷林(Liao, et al, 1972)。福建省水产科学研究所等(1974)用梭鲮脑下垂体为100—200

\* 本文是在中国科学院海洋研究所徐恭昭副教授和郑澄伟先生指导下写成的,在此谨致谢意。