

国立中央研究院

地質研究所
集刊

第 陆 号

古生代以后大陆上海水进退的規程

李四光 著

地質研究所印行

十七年十一月

THE CANON OF MARINE TRANSGRESSION IN POST-PALÆOZOIC TIMES¹

By J. S. LEE

(Abstract)

This paper is a sequel to the writer's attempt to trace the "Fundamental Cause of Evolution of the Earth's Surface-features" already published in the Bulletin of the Geological Society of China, Vol. V., No. 3-4. It deals with the spatial distribution of the various extensive floods in the Northern Hemisphere, and the temporal relation between those floods and the intervening tectonic movements. Discussion has not been extended to the Southern Hemisphere largely because of the fact that the available data from that part of the globe have not yet, in general, attained the necessary refinement for a systematic treatment.

The writer opens this discussion with a brief review of the leading hypotheses concerning the problem at issue. The doctrine of eustatic movement as well as of equatorial and polar oscillation of sea-level as advocated by E. Suess is rejected by E. Haug who maintains compensatory transgression and regression in the neighbourhood of a geosyncline. Haug's theme is in turn rejected by H. Stille who stresses on the contemporaneity of the advance or recession of marine waters. C. Schuchert and J. Barrell dealt at some length with the possibility of oscillatory transgression due to alteration of the earth's rotational speed, and arrived at a conclusion that seems to be rather in favour of it.

From analyses of the stratigraphical data available to the writer, it is held to be more probable that, as far as the Northern Hemisphere is concerned, prior to an episode of widespread tectonic movement, marine water *generally* transgresses in the low latitudes being accompanied either by a regression from the high latitudes or a transgression in the high latitudes to an incomparably lesser extent; whereas, during or immediately after the tectonic disturbance, the condition as to the movement of marine water is *generally* reversed. This leads to the conception of a geological cycle as consisting of a series of events which starts with a marine invasion in the high latitudes or regression from the low latitudes, followed by a transgression in the low latitudes, and finally by a tectonic movement. The movement of marine water in nine of such cycles is discussed; namely, Muschelkalk, Norian, Lias, Oolite, Neocomian, Cenomnian, Senonian, Lutetian and Tongrian. These are regarded as minor cycles. Some of

¹ An English version of the full paper will appear in Bull. Geol. Soc. China; Vol. VII, No. 1.

these minor cycles combine to form a grander one. For instance, the Lias and Oolite combine to form the Jurassic cycle; and the Neocomian, Cenomanian and Senonian combine to form the Cretaceous cycle which was concluded by the grand Laramide Movement. Such grander cycles, then, roughly conform with geological periods in their usual sense, but not always.

The fundamental cause of these alterations of sea-level is attributed to the concentration of the earth's mass and consequent alteration of its rotational speed. Emphasis is, however, laid upon the limitation of the effect of the variation of rotation because of the more important factor of gravitational potential in determining the form of the oceanic surface. Local or regional deformation of land-surface, such as due to the development of a geosyncline or geanticline is also to be considered, for the variation of land-form must obviously play an important part in the local distribution of sea water.

Owing to the inadequacy of data, the several cases relating to the minor cycles are presented merely as working hypotheses. As to the grander movements, both geocratic and hydrocratic, the writer is inclined to believe that the rule more or less holds. Thus, the late Jurassic or Young Kimmerian movement was preceded by an extensive invasion in the south, and accompanied or followed by the Volgian or early Neocomian invasion in the Arctic; the Post-Cretaceous or Laramide movement was preceded by a still more extensive flood in the south, and followed by a decisive, though not equally widespread, palæocene invasion in Siberia and north-western Europe; and lastly, the Lutetian and Tongrian invasions in the south foreshadowed that series of mighty movements which involve the uplifting of the Pyrenees-Alps-Himalayan mountains. This is followed by an extensive Pleistocene transgression in the Arctic.

In recent years raging discussions are rapidly exchanged between the opposing camps of the more enterprising geologists. On the one side, there is a strong school that faithfully dwells on the old doctrine of contraction or the foundering of some segments of the earth's shell; on the other, very little is admitted in the mechanism of tectonic movements other than horizontal shifting. The writer fails to see any irreconcilable cause for this battle, for the process of contraction or segmentary foundering virtually amounts to the concentration of the earth's mass. If so, there seems no way to escape the physical consequence that the earth will increase its speed of rotation which, under admissible conditions, will give rise to a force for horizontal displacement of the land-masses. The present discussion is deeply involved in the co-adaptation of these apparently opposing views, and is therefore presented in spite of its incompleteness.

J. S. L.

目 錄

	頁 數
概 說	1-5
II. 地 層 學 上 事 實 的 分 析	
A. 三 疊 紀	5-11
B. 侏 羅 紀	11-21
C. 白 堊 紀	21-35
D. 舊 建 紀	35-44
E. 第四期初北冰洋海水的泛濫	44-45
III. 結 論	46-50
引 證 文 件	51-57
英 文 摘 要	

古生代以後大陸上海水進退的規程

李 四 光

I. 概 說

Eduard Suess 在他的名著 ‘Das Antlitz der Erde’ 的第二卷中，曾經論過過去各地質時代中海水向大陸侵入或從大陸退出的規程。他的意見以爲海岸線的升降，乃至海水的侵入或退出，從原因上說，可分爲兩項：第一項是屬於宇宙的。假如地球自轉的速率增加，海洋表面的形狀比陸地的形狀變到更扁的時候，兩極的方面，就要從海水中隆起而赤道的方面就要被淹沒。反之，陸地的形狀比海洋表面的形狀變到更扁的時候，兩極的方面，就要沉沒；而赤道方面的陸地便要隆起。據 Suess 的意見，這種屬於宇宙的變形，祇能發生局部的影響。如北冰洋一帶海岸線下降的遺痕和赤道方面屢次被海水淹沒的事實，都可從此解釋。第二項是屬於地質的。這一項的影響，普遍全球 (eustatisch)，或者使全海洋面上升 (positive)，或者使全海洋面下降 (negative)。Suess 以爲海底受泥土的淤塞，足以使全般的海面增高；而陸地的崩陷，可以使全般的海岸下降。關於地球的速率變更所發生的影響，Suess 說的極爲含糊，也不曾從地史學上作充分的論證，所以一般地質家（恐怕連 Suess 自己）都把那所謂“宇宙的原因”混在潮汐的影響一道；再不深究了。關於泥土淤塞海底或地殼大規模陷落使海面全般升降一層，從理論和事實兩方面，可以證明無成立的理由。

Suess 以後，對於本問題作比較的有系統的討論者，有 Emile Haug, Charles Schuchert 兩氏。Haug 反對 Suess 的立論。他說在過去

各地質時代中，無所謂海面全般的升降，亦無所謂兩極或赤道各方面各同時升降。據 Haug 的意見 [51]：海水的移動，完全是各地方互為消長的。比如同一時代，一個地域漸漸被海水淹沒，而另一個地域却漸漸變成陸地。Schuchert 的意見，大致和 Suess 類似。他的同事 Joseph Barrell 并說明地球因自身收縮，旋轉加速，在某種情況之下，可使海洋面的形狀變更。Barrell 從 Chamberlin 的 “The Tide and Other Problems” 一書的表中 (p. 59, 67) 尋出幾個數目，作他計算的根據。假如地球全體的密度，在速率變更以後，仍受 Laplace 法則的支配；換言之，如果 U 為重力場位的函數，速率變更以後，仍是

$$\frac{d^2U}{dx^2} + \frac{d^2U}{dy^2} + \frac{d^2U}{dz^2} = 0$$

那末，地球的半徑從 4,060 英哩縮到 3,960 英哩的時候，每天的時間，應該減少 4,419 秒；每天的時間減少 14,990 秒的時候，半徑的縮短，可從前書 67 頁表中前兩行尋出。依據這些數目，可得地球的平均半徑縮短一英里的時候，赤道的半徑便比兩極的大 950 英尺。這種的結果，當然以收縮的部分限于地球的中央或其他部分為條件。平均起來，我們可以說每一英里的平均半徑縮短，赤道的半徑，就要增 90 至 100 英尺。在兩極海面降下 60 尺；赤道上增加 35 尺；在緯度 35 度的地方，海面不升不降 [113a]。

Haug 的意見，近來經過 Hans Stille [115] 的詳細討論，似乎不能認為正確。本文中所舉的事實，也多與 Haug 的結論相反。假如我們照 Haug 的意見，把太平洋區域也當做一塊過去的大陸，那如許浩蕩的海水，我們將把他攔在什麼地方？過去大陸上的淺海，分明是不夠容量的。

在討論“地球表面形象變遷的主因”一文中，著者曾嘗試的引伸到海水的侵入與退出，應該在時代上和造山運動有一定的關係 [69]。當造山運動發生以前，地球的自轉速率增加，赤道方面的海面，應該隨而增高，全時兩極方面的海面隨而變

低；反之，在造山運動盛行的時期，或造山運動方了的時候，地球自轉的速率，應該稍稍減小；於是兩極方面沉沒，而赤道方面海面降低。引伸的結果，非做到十分妥當，當然不足為憑。本文的用意，就是用歸納的方法，廣羅事實，試看從事實上所得的結果，究竟與引伸的結果是否相符。

不過在入手節節討論以前，我們不能不注意幾件重要的問題。第一件就是海面運動 (hydrocratique) 與陸地運動 (géocratique) 的區別和關係。從大陸塊 (shield) 和陸沉帶 (geosyncline) 的構造看起來，大陸的各部分時升時降，是極明顯的事實。這種運動，簡直是對地心的運動，並不是因為海面的升降而表見出來的。但是從地層學上的事實，我們不能直接斷定任何地域在任何時期，對於地心，曾經移動。我們所知道的祇是某一地域在某時代曾被海水淹沒，或曾從海底而變為陸地，所以就一般說：這種的運動，可以完全因為海面的升降；也可以完全因為陸地的升降；又可以為兩項原因相消或相加的結果。

我們雖然沒有絕對的方法證明究竟是那一種原因使某時某處的海面發生變動，可是也有相當的方法來間接的斷定那一種原因與事實最相符合。如果在某一時代大陸各處海水的進退，完全是陸地各部分發生相對運動的結果，換一句話說，如果是陸地各部分因為構造上的變動而發生升降的結果，那末，同一時代各地方海水的運動，應該參差不齊；下降的地方被海水淹沒，上升的地方露出海面，是必然的趨勢。如果在某一時代大陸各處海水的進退，完全因為海面的升降，那末，在海面升高的地域以內，無論何處，祇要與海水連接，必定祇發生海水侵入的現象而不發生退出的現象；在海面下降的地域以內，無論何處，祇要與海水連接，必定祇發生海水退出的現象而不發生海水侵入的現象。海面的升降，受局部的影響極小。所以我們可以說：海面對於地心果真有了升降，那種影響，必定不限於局部；如果海陸兩方面同時發生變動，那就要看那一方面移動較

大。比如在一個地域，海面往下降同時陸地也往下降；如若海面比陸地下降的少，那時便要發生海水侵入的現象；如若海面下降的程度比陸地下降的程度大，那時便要發生海水退出的現象。在後項情形之下，海面的下降，仍然與海水退出現象一致，與陸地不動，結果相差不遠；但在前一項情形之下，海面雖然下降，海水反而侵入，那便與陸地不動，海面單獨運動的結果大兩樣了。其他海面和陸地兩方面并動的種種關係，可由此類推。

第二件就是照 Clairaut 的定理，海洋表面的形狀和地球全體的形狀，不能相差很多，因為 Clairaut 的方程式明白表示地球的扁度是重力和地球旋轉力的函數；二者之中，又以重力的關係最為重要，所以在地球全體的質量沒有發生變更的時候，換一句話說，陸地方面還未發生運動而變更扁度的時候，即令因為地球旋轉速率增減，海水首先感應，即時增減他表面的扁度，然而必竟為重力的場位所限制；赤道或兩極方面海面的升降，決不能超過一定的程度。究竟能到什麼程度？那便要看地球表裏各部分抵抗這種變形的力量有多大。從此將要涉及地球全體構造和強弱的大問題，除非我們設了許多假定，至少現在無法解決。如此，我們現在祇好換一個方法，從事實方面，那就是從過去海水的遺跡上研究。

第三是地球旋轉軸移動的問題。現在所謂旋轉軸的移動，并非指短期的變動，如 nutation 之類；乃是指地質時代大規模的移動，亦即對地表各部分長距離的遷移。簡單的說：就是地球的兩極和赤道在地面變更位置的問題。關於兩極和赤道的地位，在過去各地質時代中，曾經大為變遷一說，主張最力者，近年來要首推 Alfred Wegener。據 Wegener 的意見，兩極的地位既然移動，地球的最大直徑和最小直徑的方位，也不能不移動。海洋為流體，立刻可以變形。但是陸地的變形，極為緩慢，所以就兩極移動的方向說，在兩極前面的地方，海面應該下降，海水退出；反之，在兩極的後面的地方，海面應該上升，海水侵入。Wege-

ner 并約略的舉然由下泥盆紀到下石炭紀,又由下石炭紀到上二疊紀兩個時期中,大陸上各處海水進退的情形以爲例證[135]。驟然一看, Wegener 的推論,似乎頗有道理;不過他的議論過爲簡略,我們不能承認他的意見有了充分的根據。

總之地球旋轉軸究竟曾經幾度大規模的移動與否,問題太大,牽涉的太多,困難也不少。因爲要避開那些難關,最好我們簡直不作那種假定,試看過去各地質時代中,海水的進退,是否有一定的規程。如果有一定的規程,究竟那種規程是怎樣的?同時我們也不假定地球的旋轉軸絕對的不移動。在本文討論的範圍以內,就是赤道的地位,就非洲大陸說,曾落在現今的北緯度 10 至 15 度的地方,同時兩極的地位,在現今的緯度 82 度以上的範圍內移動,於我們的結論,並沒有多大的關係。

關於古生代中海面的變遷,著者在前文中已約略的討論。本文討論的範圍,祇限於古生代以後各時期海水在陸上出入的情形。可惜一直到今天,南半球各地方地層學上的事實,還未十分明瞭;就是北半球北冰洋一帶的地層層次,也還要大費研究。所以我們現在的討論,祇能限於北半球;而在北半球中,又祇能着重幾個已經有詳細地層調查的地方。這是就地域上說。若就時代上說,在造山運動頗劇烈的時期一比如第三期的後半期一大陸各處發生運動,地面各處升降不一。因此海洋面的形狀,卽令有了變更,也不容易從海水的侵入或退出的遺迹上推測出來。所以我們可以預料到第三期後半節海水進退的情形,也和古生代末造一樣,極不規則,沒有討論的必要。

現在我們從事實上去找中生和新生兩時代北半球大陸上海水進退的規程。

II. 地層學上事實的分析

A. 三疊紀

從上石炭紀的末造一直到中生世的初期,世界各大陸上都發生了很劇烈的運動,是已經確定的事實,在此無庸論列。這

一回地殼運動的結果,有的地方造山作用極其顯著;例如北美的 Appalachian 山脈,歐洲的 American 或 Varicische 山脈。亞洲的天山,崑崙,南山乃至中國的泰嶺,歐亞間的烏拉嶺,在當時似乎都經過造山運動。其餘還有許多地域,受了擠壓,整個兒升高,發生所謂造陸運動。所以在三疊紀的時代,大陸的表面,平均起來,離海面頗高。於是大陸上淺海所占的面積,比較也不甚大。就北半球說:當時陸上的淺海,有所謂烏蘇里海股,由西伯利亞的極東北部一直伸到海參崴以南;又有所謂大地中海 (Tethys), 從中國的西部經過喜瑪拉雅陸沉帶再經過中亞細亞一直到歐洲的南部。這一條大地中海也許有一分支從現今的裏海附近往北,沿着烏拉山一直通北冰洋 [45]。在北美方面,僅僅北冰洋一帶和北美的西部以及墨西哥,有若干地域沉沒在海裏。

北美的西部,當時顯然是一個陸沉帶,和太平洋岸平行。猶之乎喜瑪拉雅陸沉帶在亞洲一樣。在這種大陸沉帶中,陸地自身免不掉發生運動,所以在那種地方海水的進退,不能絕對的表示海洋面的升降。至於北冰洋一帶海水的出入,在討論本問題中的確極為重要。可惜北美洲靠北冰洋一帶的三疊紀地層層序,至今還未見有詳細的攷察。不得已,我們現在祇好把歐亞方面的情形,當作標準。

從歐亞大陸上南北兩方面三疊紀地層發育的情形看起來,在三疊紀中,海面的升降,似乎有兩次循環。第一次循環,到 Ladinien 時代為止。第二次循環,到 Norien 時代終結。從歐亞大陸南北兩部分三疊紀地層發育的情形,我們可以得着關於這兩次循環的若干證據。

先說歐洲南部,亦即阿爾卑士陸沉帶中及其附近三疊紀岩層的層序。詳細的講起來,阿爾卑士陸沉帶中各處三疊紀岩層的發育,當然不是完全一致;不過就大概說,通歐洲的南部,極相類似。Haug 將歐洲南部的三疊紀地層,作了一番比較,得下列普遍的結果 [52a]:

4. Norien 時期。 極普遍的灰質停積。
3. Carnien 時期。 除了陸沉帶的中部有相當的深水停積以外,其餘各處都是湖水停積,多含鹽類和植物的碎片。
2. 中三疊紀時期。 普遍的灰質停積; 在許多地域,停積毫無間斷。
1. 下三疊紀時期。 破碎岩石的停積。

從上述普遍的地層層序看來,可以知道南歐一帶在下三疊紀的時期,海水退出;中三疊紀的時期,海水侵入;在上三疊紀的初期,即 Carnien 時期,海水又退出;到上三疊紀的後半期,即 Norien 的時期,海水又侵入。這種情形,不獨適合於阿爾卑士陸沉帶的本處及其附近;并且適合於歐洲極東南部分的 Karpath [35, 128] 和 Crimea 等處。在這些地方,往往有人說 Ladinien 時代的地,不會發育。然而仔細攷查的結果,已經證明了 Ladinien 的岩層,大半都是一種缺乏化石,或絕無化石的鎂灰岩 [47]。

喜瑪拉雅陸沉帶,自古生代的末造經過三疊紀全紀,似乎始終都淹沒在海水裏。從 Otoceras 石灰岩的發育看來,在三疊紀還未曾開幕的時候,那地方的海水已經不淺。換一句話說: 那地方的地面必定是很低。在那種極低窪的陸沉帶裏,即令海面發生升降的運動,除了海岸附近的地方,不會受多大的影響。就是在海邊當時發生了海水進退的痕迹,到了今天,保存的機會,是很少的。這並不是說我們將來在喜瑪拉雅一帶,絕不會發見三疊紀中海水進退的遺痕。現在事實上我們就知道在 Byans 地方的 Tropites 石灰岩中,層序確有間斷。那一個間斷的時期,大約與上 Carnien 或下 Norien 相當 [22]。在歐洲的南部,也差不多是這一個時期,海水曾經退出,前已說過。

在喜瑪拉雅陸沉帶的本處,因為前述的原因,不容易找出海水進退的證據;然而到了這個陸沉帶的東北方,那就是中國

的西南部,我們就可以得着明顯的事實,證明歐洲南部以至中部的 Muschelkalk 海水侵入的現象,在亞洲的南部也曾經發生過了。關於這個問題, E. Koken 曾有詳細的論述,現在不必贅說。我們應該注意的就是: 這 Muschelkalk 時代的海水侵入,與以前說過的中三疊紀時的海水侵入,大致就是一回事。如此看來,通過三疊紀,歐洲南部海水進退的情形,與亞洲南部的情形,在大體上,沒有多大的不同。

南部的情形,大致如此。現在我們說到北冰洋方面,爲簡單而便於比較起見,我們最好是利用 W. A. Obrutchev 最近搜集的材料。據 Obrutchev 的研究,西伯利亞東北部三疊紀地層發育的情形,可概括如下 [87a]:

上三疊紀:

6. Rhætic. 缺乏。
5. Norien. 泥質岩,砂岩或礫岩,砂岩中往往含植物碎片,泥頁岩中含斧足類甚多, *Pseudomonotis ochotica* 一種猶夥。其他尚有若干腕足類及頭足類。屬於這一期的岩層,多分布在 Ochotsk 海的南北兩岸, Werchojansk 山脈, Jana 盆地,新西伯利島以及 Olenek 流域。
4. Carnien. 頁岩及石灰岩,含 *Halobia fallax*, *H. Zitteli*, *Pseudomonotis*, *Schizoneura* 等種族化石;多分布在 Ochotsk 海的北岸, Jana 盆地以及 Kotelny 島一帶。

中三疊紀:

3. Ladinien. 缺乏。
2. Anisien. 屬於本期的岩層,在西伯利亞發展的範圍甚小。由黑龍江一直到 Jana 河的下流, Anisien 的地層,大約完全缺乏。唯有西伯利亞極東北部的 Olenek 河口, Jana 河下游, Kullar 山等處,有泥灰質或泥砂質的岩層,其中含有 *Hungarites*, *Beyrichites*, *Parapopanoceras* 等類化石,大約屬於本時期。又在海參崴附近,出一種

黑色的泥灰岩,砂質頁岩及砂岩,其中含有 *Xenodiscus*, *Monophyllites*, *Ptychites*, *Pseudomonotis* 等類化石,大約也是屬於這個時期。

下三疊紀:

1. Scythien. 屬於本期等岩層,在西伯利亞的東部占相當的面積。概括可分為南北兩部分:在南部的多屬砂岩,礫岩及頁岩;其中含有 *Meekoceras*, *Myophoria*, *Myalina* 等下三疊紀的特殊化石。從 Russki 島到黑龍江流域都有這種岩層。總厚一千多公尺,大約代表下三疊紀的全部。在北部的多屬頁岩砂岩;礫岩極少。分布在 Olenek 下游, Kotelný 島以及 Ochotsk 海北岸一帶。這些岩層含 *Meekoceras*, *Xenodiscus*, *Monophyllites*, *Olenekite*, *Keyserlingite*, *Czekanowskite*, *Sibirite*, *Hedenstromites* 等類化石甚多。大約屬於 Scythien 時期的後半期。

以上所述各地層的時期的鑑定,都有相當的古生物學上的根據,我們相信無大錯誤。那末,我們可以說:在西伯利亞的東北部,當下三疊紀的時期,海水曾一度侵入,以致喜瑪拉雅海中的生物羣,如 *Meekoceras*, *Xenodiscus* 等族,流徙到西伯利亞北部的海中。當中三疊紀的時期,西伯利亞的東北部,因為海水退出,大部分成了陸地,所以 Ladinien 的地層完全缺乏, Anisien 的地層,發展也極小。當 Carnien 的時期,有石灰岩頁岩發生,表示海水頗深,海水侵入的現象;而到 Norien 的時期,發生了許多礫岩,砂岩,且含植物的破片,這顯然是海水退出的結果。在此我們應該注意西伯利亞東北部海水進退的情形,就時代上說,完全和歐亞大陸南部的情形相反。

關於烏蘇里海股在三疊紀中的變遷,大致是如此。現在的問題是沿着烏拉山的那一條海水,在三疊紀中,曾經發生過何種的變化。據 A. W. Grabau 的意見,當三疊紀時代,烏拉嶺的旁邊有一條南北的地中海,聯絡北冰洋和 Tethys。從當時生物羣分

布的情形着想, Grabau 的意見, 似乎有充分的理由, 可以成立。不過到中三疊紀的時代, 這一條南北的地中海, 完全乾涸了。在上三疊紀中, 海水是否重新侵入, 現在沒有地層學上的事實可攷。然而再往西北去一點, 便又有了證據: J. G. Andersson 曾在 Bear Island 發見了一種含 *Myophoria* 的地層 [2]。這一種地層中有 *Clinolites*, *Dawsonites* 等類化石; 顯然表示 Carnien 時代海水侵入的結果。Spitzbergen 的三疊紀, 也含着兩段海底的停積。最下一段是一種煤性的石灰岩, 在 Isfjord 層上。其中有 *Posidonomya minor*, *Meekoceras furcatum*, *Monophyllites spitzbergenisis* 等種化石。屬於 Virglorien 卽下三疊紀的後期, 沒有問題 [75]。這一層石灰岩上就是一種黑色的頁岩。其中有 *Daonella linstromi*, *D. arctica*, *Ptychites* 以及 *Parapopanoceras* 等種類化石。這些生物, 顯然和西伯利亞東北部的 Anisien 時代的地層中所含的生物層相當。在上一段是煤性的頁岩。其中含着 *Halobia Zitteli*; 顯然和西伯利亞東北部的 Carnien 相當。上部的這一層頁岩, 雖然不厚, 然而是一種海底的停積, 沒有疑問。

把以前所說南北兩方面海水進退的情形總合起來, 我們可以得以下的結案:

在下三疊紀的時代, 海水從阿爾魄士陸沉帶退出, 而同時西伯利亞的東北部, Spitzbergen 和烏拉嶺的旁邊各地方, 有若干處所被海水淹沒, 到了中三疊紀的後期, 南方各處的海面擴大的時候, 而北冰洋方面的海却從大陸上退出, 在上三疊紀的前半期, 卽 Carnien 時代, 阿爾魄士一帶海水低涸, 湖沼出現的時候, 在北冰洋的 Spitzbergen 地方, 却短時的被海水淹沒, 西伯利亞東北部的內海也變深了; 所以當時在那一方面的停積物, 多是灰質或者泥質; 淺水中的砂礫, 並不常見。最後到了 Norien 時代, 南方海面的擴張, 極爲明顯, 而在北部所見的停積物, 不是停積在淺水中的粗砂礫, 就是停積在陸上的岩石破片。

北美北部的海成岩層, 至今還不甚明瞭。就大概的情形看

起來,北美的東北部,海成的三疊紀岩層,似乎完全缺乏。唯有西南部的 California, Nevada, Oregon 以及 Idaho 諸州,海成三疊紀的岩層,特別的完全。由此往西北去,經過 British Columbia, Alaska 的東部,一直通北冰洋一帶的地域,斷斷續續,都有一部分三疊紀的海成岩層。照這一方面的情形看來,當下三疊紀的前半期,California 和 Idaho 一帶,淹在海裏,正與亞洲的喜馬拉雅陸沉帶相當;因為 *Meekoceras* 也是在這個海中主要的生物。過了這個時期,南方的海面縮小,海水從 Idaho 退出。到中三疊紀的前半期,海面又擴大了。海水從 California, Nevada 等處,侵到 Oregon。這一次侵入的海水,却與前次不同,其中帶着有一羣北冰洋來的生物,如 *Parapopanoceras*, *Hungarites* 等族,大致和 Spitzbergen, 及西伯利亞東北部的 Anisien 時代的生物羣是一樣的。到中三疊紀的後半期,這一個北美西南部的內海,似乎更有擴大的形式;其中的生物羣,類如 *Ceratites trinodosa* 一種,完全和歐亞南部的 *Muschelkalk* 一樣。從此可以證實 *Muschelkalk* 時代,北美的南部,海面也有擴大的現象。從此以後,火山爆發,海水似乎從 California 部份的退出,漸漸向北方移動,經過 British Columbia, 直通北冰洋,所以北冰洋的生物,如 *Dawsonodites*, 又出見了。當時 California 的地面大約很低,所以始終沒有完全升出海面;因之有許多生物,如 *Halobia*, *Tropites* (特別 *Tropites subculatus* 一種) 等類,可以在歐亞北美三洲南部的海中任意流徙。從這些生物可以知道此次海水稍向北移的現象,正發生在 Carnien 時代。這又與歐亞方面海水移動的情形,適相符合。最後到了 Norien 時代,南北美西部的海水,從 Alaska 到祕魯,大見擴張,有分布甚廣的 *Pseudomonotis* 地層為證。

B. 侏羅紀

因為侏羅紀的地層,在世界上各處,特別在歐洲方面,頗有詳細的研究,所以關於侏羅紀中海面形狀變更的情形,我們可

以作比較稍確一點的討論。通過侏羅時代，海面形狀變更有兩次循環：其一屬於 Lias，其二屬於 Oolite。當上侏羅紀的末造，也許有其他比較短期的或局部的循環，不過那種循環遠不如前述兩期循環的重要。

(甲) Lias 循環

爲便利起見，我們先討論南部海水進退的情形。地中海一帶，Lias 地層的發育，頗不一致。在幾個低窪的地域，如葡萄牙的 Tage 地方，法國南方的 Digne 附近，Dauphiné 盆地，Lombard 阿爾魄士，以及 Dinarid，Appennin 陸沉帶，通過 Lias 時代，自始至終，淹在海裏；所以在這些地方的 Lias 地層中，向來不曾發見間斷。在 Aquitaine 和 Rhône 兩盆地中，Lias 的地層，差不多可以算是完全，唯下 Lias 的上部，稍有缺欠。這些地域，都是很低，所以長久沉在海底；可算是幾個特例。至若其餘一般的情形，便大不同。就一般的情形論，我們可以說：歐洲南部的 Lias 海，自從 Domerien 時代起，便漸漸的擴張。例如在西班牙北部的 Teruel 省，Domerien 時代的淺水石灰岩，或者直接覆在最下層 Lias 的 Hettangien 鎂灰岩上面，或者在比較高一點的 Lias 地層上面，顯然表示 Lias 的前後兩期中海水曾經退出，侵入 [23]。在 Rhône 盆地亦即“Golfe des Causses”的北口，Domerien 時代的砂質石灰岩，超過其下 Sinemurien 層分布的範圍，并且與 Sinemurien 的關係不定，或者有礫岩間隔，或者爲一種泥灰質的石灰岩所隔斷 [104]。Basse-Provence 等處，情形正與此相類，不過在那一方面，海水的侵入時期，也許稍早一點。在 Venetien 阿爾魄士 [79] 以及 Transylvania 等處，Domerien 上部分的地層，也有擴張的現象。

再遲一點，到 Toarcien 和 Aalenien 的初期，地中海一帶的海面，更爲擴大；意大利有名的 Rosso Ammonitico 石灰岩，正是這時代發生的 [3, 76]。還有許多與 Rosso Ammonitico 同時代的海成岩層，分布到 Lombard 阿爾魄士，西班牙的南部，以及摩洛哥的

Traras Massif, Benisnassen 等處 [42]。在意大利極南部的 Calabrie 地方, Toarcien 和 Aalenien 的岩層,往往直接落在一種已受侵蝕的花崗岩上;下 Lias 的上部和中 Lias 的地層,完全缺乏 [44]。法國東南的 Briançon 地方,在 Domerien 時代,還露在海面;到 Aalenien 的初期,連他兩旁的盆地,一齊都淹沒到海裏去了。

再往東南方去,在 Cracow [105], Donetz 盆地,巴爾幹, Crimea [4], 非洲東部,以及喜瑪拉雅等處,至今都留下 Toarcien 或下 Aalenien 時代海水侵入的遺跡。在喜瑪拉雅,俾路芝一帶,有極厚而分布甚廣的 Kioto 石灰岩。這一層大海停積物,明白表示上 Lias 時代,海水在亞洲南部擴大的事實。更有趣味的是:馬來半島附近的 Rotti 島上,曾經因火山爆裂,衝出許多 Lias 時代的岩石。從那些岩石破片中所含的化石看來,祇有下 Lias 和 Toarcien 時代的地層,埋在地下;而中 Lias 時代的地層,似乎缺乏 [106]。由此可知亞洲的東南部也有上 Lias 時代海水侵入的痕迹。

北美洲的南部,在 Lias 的時代,祇剩下 California, Oregon, Nevada 三州的若干部分,仍然沉在海中。關於這一帶海水在 Lias 時代進退的情形,至今還不甚明瞭。可是有兩件事,很可以注意:第一是 California 北部的 Taylorville 地方有一種海成的砂岩名 Hardgrave 砂岩 [54]。這一層砂岩在屬於 Bajoncién 時代的 Thompson 石灰岩之下; Trail Formation 之上。Trail Formation 含植物化石,顯然非海中的停積;并且也是屬於 Lias 時代。從這種地層上的關係,我們敢斷言 California 的北部,在上 Lias 時代曾被海水淹沒。在 Nevada 西部的 Humboldt 山派一帶,有 1500 至 2000 英尺厚的石灰岩代表 Lias; 在墨西哥灣的 Puebla 及 Vera Cruz 等處, [5] 也有 Lias 時代的黑板岩。這些岩層和他們上下的岩層,似乎都不是連續的。從這些岩層分配的情形推測,前述上 Lias 時代 California 北部海水的侵入,似乎不是局部的現象。第二是這些 Lias 時代岩層中所含的化石,如 *Arietites* 等類,與北冰洋一帶