

資 料

551, 313, 051 : 551, 79 (47)

Rhône 河デルタの堆積学的研究*

C. Duboul-Razavet** et C. Kruit***

牛塚 統 六 訳

緒 論

われわれがここに提出する新しい研究は、フランスでは C. Duboul-Razavet (Paris の S.P.-C.N. の地層研究所) による、そしてポーランドでは C. Kruit (La Haye の “Royal Dutch Shell” グループの堆積学研究所) によって同時に企てられた研究の成果である。

これらの研究の対象をなすものは、ロダニアン、デルタ地域の水力学的および堆積学的の一般的な問題、第四紀デルタの構造と発達およびこれらの種々な要因がその発展に及ぼす重大な影響とである。

C. Duboul-Razavet は特に海岸海洋学、海岸の形態学、およびその発展、すなわち一言にしていえば現在の現象のメカニズムに専心した。

C. Kruit は特に河川に関する形態学、デルタの堆積 (海洋掘さくによって収集された資料を使用して); およびこれらの環境が庇護する微細動物 (microfaune) を取り扱った。

地理的・気候的な概観

Rhône 河の下流は大体 N—S に流れ、Arles 市付近で二手に分かれ、一つは SE に流れる大ローン、他は SW に向かう小ローンとなる。この2つの河はいずれも Lion 湾に注ぎ、そこで Camargue のデルタを構成している。

遠い昔においては、こんちちではなくなっているいくつかの水路が現在の河口の東または西に位置する末端の地域まで到達しており、そこでデルタ平原の露面や沈泥に参加していた。

地質学的見地から、人はこの沖積平原を “ローン・デルタ” の名でよんでいるが、これは現在でも地表で発見しえられる、最も外側にある昔の支流の中間にある。

この地方は北方の地域においては Costières および La crau d'Arles の villafranchiens 砂利地によって区割られ、東はより新しい crau de Miramas のそれによって限られている。また西は、もし villafranchiens の砂利地がなお Mauguio 池の近くの Maguelonne のところのロダニアン堆積の海岸線を形成するならば、Costière 原産の Vistrect および Vidourle の沖積堆積物はローンの堆積物と混合する。

ローン・デルタは平坦で単調な無限の平野である。その海拔は北方においても非常に低く (Arles において 4.50 m), それが南方の海に向かって次第に低くなっている。しかしながらこの弱い高低は形態学上の変化の深さを決定するには充分である。

北部においては、海水の上陸を避けるため、いくらか高くなっている Camargue の頭部 (tête) で、長いあいだ耕地となっているが (穀物、果実、葡萄の取入が潤沢である)、これに反し南部の Camargue 低地は最近の水田の発達を考慮に入れても、海面以下にある多くの場所の中に (Vaccarès の中心部で -1.60m) 鹹味ある池や一時的な潟の地域として残留している。この地の生物学的発展は季節的である。

しかしこの2つの地方は景色に多様性を与える微細な高低 (micro-relief) を示している。

* C. Duboul-Razavet et C. Kruit : Sedimentologie du Delta du Rhône, Revue de L'institut Français du Pétrole, p. 399~410, 1957

** Station marine d'Endoume et laboratoire de Sédimentologie du S. P. C. N., Paris

*** Royal Dutch Shell, La Haye

北にあるものは沖積土の凸起 (bourrelet) と砂丘で、南ではそれに新旧の海岸線が付け加わっているだけである。

この形態的特質がこの国全体にわたって地中海の気候の暴威をふるわせる。

しばしば起こる強風はこの砂漠のような土地の上を、何の障害物にも遮ぎられることなく吹き荒れ、低くときれがちの砂丘の遮蔽物はその暴威を緩和するには無力である。その強力な東北風は最大風速 150 km/h に達する。それは非常に乾燥しているので、冬には寒気、夏には暑気を伴った強烈な蒸発の原因となり、急速に低気圧による乾燥をもたらす、平原の地上に塩の風化粉末を出現させる。

これに反して南東の風は西の風 (largade) と同じく、沖合の湿気を帯びて吹いてくる。この風は降雨をもたらすが、海岸では強い海上暴風を起こさせる。一般的に雨はまれな方であるが、降ると強暴でことに秋には低地に氾濫を起こす。これは夏に乾燥して暑いからである。これ以外の風はあまり吹かない。そして現在の形態の様相に対して決定的な影響は与えない。

デルタ堆積の発展と湖や海の水力学的体制は地方的な気候要因の不断の干渉を受ける。

海 洋 学

波のうねりや潮流は堆積物を運搬する重要な要因であり、このことに関して密接な関係をもつ。しかしながら地中海においては、気象異変は同様に不規則な水力学的の体制をしばしば生ぜしめる気まぐれな、そして一時的な性格をもっている。

1. 波のうねり

浅い海底との接触による屈折のために起こる波がしらの線 (lignes de crêtes) の変形は、もし他の条件が同じく、かつうねりの最初の incidence initiale (最初の傾角) を考慮に入れば、海底地形と浜の輪廓の作用により、著しく波の力の配分と堆積物の移動方向を変更させる。

波の面 (plans de vagues) の修正は、この地域の海底が不安定であるから、その計算は (Iribarren 法) 実際的には実現不可能であるが、時間によるおもな型を示す航空写真によって行なわれた。これらの種々な波の面は、風の変動とともに変化する波のうねりの流れ方について作用を及ぼす局所的な風を明らかに指示する。

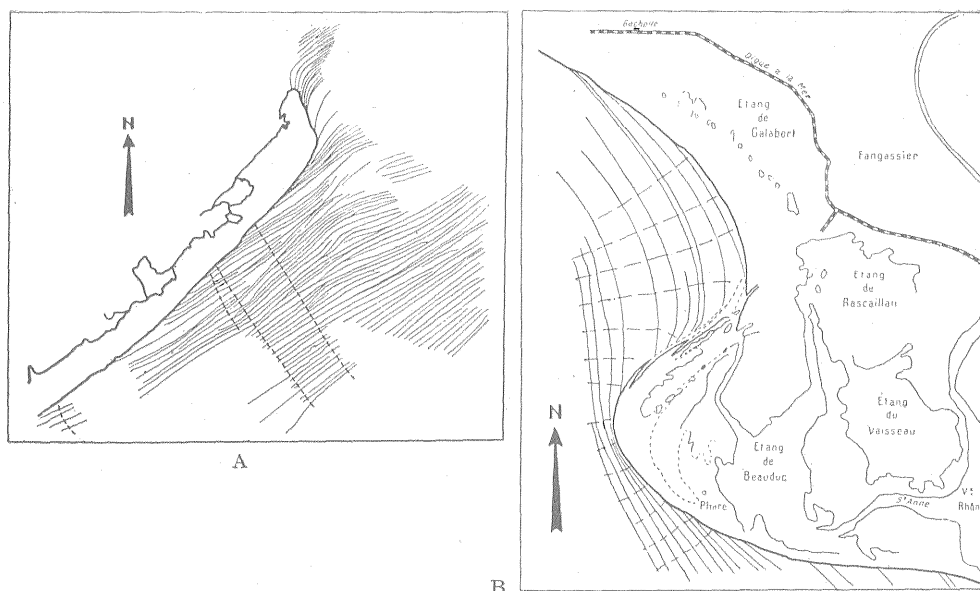
なおこれらの波面は、われわれが若干の代表的な実例を指摘するところの発展的な変則性の原因を発見することができる (anomalies évolutives)。例えば

—Rhône 岬と同様、Gracieuse 岬の発達は Roustan 疏水 (grau) から NE に向かう堆積物の移動から結果され、このことは海岸の方向が、河口にごく近い距離における破壊的な SE からの暴風雨によってさえ、潮流は Fos 湾の方向へ堆積物を運ぶようにできていることから説明できる。であるから Gracieuse 岬の安定性は容易に正当化され、何も Fos 湾からもたらされる沈泥や全く架空の堆積物をもって来る必要はない。

—同様に種々の傾角のうねりに曝らされている地域では、例えば Beauduc 岬や Espiguette 岬のように、沖からのうねりは屈折によって消失し、また海岸の近くでは勢が衰えて完全に (あるいはほとんど) 見えなくなって通過するのがわかる。この波のうねりがこれらの岬の西の斜面と、特にこの斜面によって限定される湾の海底を埋め立てることに貢献している沿岸移動の流れ方を決定する。沖合からの風の中で最も不都合な風の場合においては、堆積物の移動は N および W (SE のうねり) に向けられるか、湾の底に向かって集中される (W および SW のうねり) (第1図)。

全くその直接的な堆積物をもっていない、これら2つの岬の西海岸が生長を続けている理由が、これらの波面の研究によって説明される。

EW に横たわっている海岸では、陸から吹く風 (N および NW) は沖合で *houle classique* (典型的な波のうねり) を生ぜしめ、そこから *houle induite* (誘導波) が分離し、波の運動



a) Gracieuse 岬：南東の風による波面
b) Beauduc 岬：西の風による波面

第1図 海浜における波のうねりの変形

の正常伝播から岸に向かって多少とも規則的に進行する。この現象は最初 A. Rivière によって発見され、これが海岸の堆積物の移動が E に片寄る原因となるのである。

2. 潮流

海底の浅い地帯（0～30 m）における Camargue 海岸にあらわれる潮流の性質に関する問題は、最近年まで、数多い議論をひきおこした最も多岐にわたる意見の対象となっていた。

大多数の著者は東から西へ流れる大潮流の le grand courant méditerranéen またはその一つの分流の存在を認め、それに対して現在のほとんどすべての海岸の形態の発達の責を負わせていた。しかしながらこれらの実験的事実は不十分で、時としては全々存在しないこともあり、この問題の満足な解決を提供していない。

多くの海岸地点例えば Fos, grand Rhône 岬, Faraman, Beauduc, Saintes-Maries において特定の標準時間中に行なわれた方法は、調査範囲において永久的な潮流が全然存在しないことを証明した。もしそれが存在するとすれば Camargue の海岸から沖合に向かって流れているはずであり、そうすればそれは堆積物の移動に何らの役割を果していない。

潮流は突発的な逆転にも順応し、また無風時にはその流れが完全に停止することすらある。潮流の垂直的なそして複雑な分散は時として方向と速度を異にする（3～4）潮流の層が1カ所に重複しているような観を呈する。

いたるところに海底の調整 (compensateurs) 逆流が生じ、デルタ沖のゆるやかな側面 (profil) の傾斜に較べてそのきわだった勾配の側面の上で便宜を与えられているようにみえる。

水中の固形浮遊含有物は波の力の函数として止まる。というのは、潮流は水中の混濁物を運ぶが、その速度は非常に緩慢で、それは自分の力では荒波のみが生ぜしめうる堆積物の荷重を持ちこたえることができないのである。

最も大きい粒子 (particules) は河川の重要河口の付近に沈殿するが、海に流出した微粒子やコロイドは東は Marseille 湾、西は Aigues-Mortes 湾あたりまで長い旅路を流浪する。

海洋の形態上の進化

海岸の進化に関係ある要因のなかで、われわれが証明しようものは、

1) 他の条件が同じならば、浜や砂浜の消長がそれに依存するところの堆積荷重の重大なる影響。これが現に特にあらわれている河口は、東では Roustan 疏水、西では Orgon 疏水である。

実際に東では大ローンは大部分の河水を海に排水する。その河口の Roustan 疏水ではその両岸は南に向かって急激に移動している。それは下流に運ばれた大量の堆積物が河口の西の地域に集積してそこで沈殿するからである。

これに反して西では小ローンは、特に河水を主流 (大ローン河) に向けることを目的とした水路の堤防工事以来 (1860年)、ほとんど護岸されており、河口の Orgon 疏水には僅かの堆積物しか運ぶことができず、とうてい沖からの波の侵食作用を相殺することはできない。

護岸工事が泥土や小石で構成されれば、なおさらそうである。Saintes-Maries および Icard 池付近の海岸線が急激に後退しているのもこれがためである。この海岸は局部的に砂の下に露出している沈積泥の地塊 (blocs de vase) でできている。これは古代の浅海地層が漸次海水によって破壊された証拠である。

侵食があらわれているのは海岸にかぎらず疏水の崖 (berges) にも及んでおり、侵食はそれを洲に変形させている。河の曲折は下流に向かって典型的に移動しているにもかかわらず、この侵食は汀 (plages) を破壊して北の方へ進行している。

2) 交互的な海岸の消失と移動の役割、その消長は浜の気象条件に依存する。

陸からの風によって思いがけない大きな海岸の移転が起こることがある。それは海底の盛り上がり (remblayage 充填, 埋め立て) を伴うからである (海岸の海面の低下による底流 (undertow) の出現)。沖からの風によって、それらは非常に急速に到達するが、しかしながらそれらの結果は、その海岸を本拠とする消失 (dispersion) 現象によって遮蔽される (沖に向かう返り波)。

この消失の現実性は、Faraman 海岸や Fos 海岸の急激な侵食作用にもあらわれている。Fos 海岸は、その極端に平らかな傾斜の側面にもかかわらず、湾の中心部において泥で海底が盛りあがっている。これらの2つの実例は、何らかの原因による沈殿の堆積物のない、移動しうる沈殿物で構成されている海岸に対しては、可能的平衡は存在しないことを示している。

海岸の発達における海の活動の有力な役割はなお次のように現われている。すなわち

a) 主要河口の発展形式の中にあらわれている。その理由として沈殿物の配置は海の種々の状態に依存しているからである。この河口は多数の三角形の小島からだんだんにできるのであるが、これらの小島は最初は沿岸の海底に褶曲として、もっと正確にいえばその中央部の正面の水面に頭をあらわし、上流に向かっては逆行屈折が加わることにより、また南に向かっては正面の海岸線との結合によって長く延びる河口の砂洲として出現する。

これらの島々または theys は“強い風下にある (sous le vent dominant)” ところの流れの西岸に接合する。この現象は“強い風上にある (au vent dominant)” にある東の堤防の侵食を伴うのが普通で、これが河口の東への移動の事実を説明するものであり、かつこの付近の坐礁難破船がこの発展を示唆する仮定を証明するものである。

Mississippi 河口の発展のメカニズムとは大いに異なり、ローン・デルタの発達は、海岸線の浮出によって長い間同じように続いている。何となればその浮出の若干数が現在カマルグ浅瀬の内部に築かれているのが見られるからである。

b) その発達が単に豊富な沈殿物の堆積に依存するのみでなく、その分散 (dispersion) の局部的減少にも関係があるところの海岸線の (flèches littorales) 形成の中にもあらわれている。

これによって Beauduc 岬の西の斜面の境界をなす海岸線の重要性と発展性が説明される

が、これは東および西から移動してきた沈殿物にとっては全くの異である。というのはこの海岸の東風は次第に陸の風となり、その分散力→→はこれらの移動沈殿物の前では消失してしまうからである。人々はあとになって盛りあがり、塩浸しの平地の les sansouires となる線状の浅瀬からはなれて海岸線が次々に浮き出るのを目撃する。

同様にして、第二次河口を特徴づけ、その存在は一時的であるところの海岸周辺の分枝 (bras périllitoraux) の構成も、その原因を海岸分散の局部的減退の中にみいだされるように思われる。

Beauduc および Espiguette 岬の方位が強風軸において恵まれていること、北の方に絶えず新しい沈殿物をストックすることが、砂丘層 (système dunaire) の発展を可能にしている。ところがこの他の E—W の方向をとるデルタ海岸ではこれが非常に少ない。ここでは横断層 (système longitudinales) が南に移動し、風圧をうけて長い砂丘に分断されて、沈殿物の消耗のためにその姿を消している。ゆえに風の干渉はデルタ内部において、E—W の方向の旧海岸が少ないことを説明している。

最後に C. Duboul-Razavet は、Faraman 地方における証拠物の浸水の実験検査により、強力な移動は従来の学説とは反対に、多くの場合西から東へ向かって行なわれることを証明した。デルタの砂浜に築かれた保護堤防の機能の研究によっても、この説が確認された。

Camargue 平野形態学と現在の発達

周知のように北と南との間にある弱い起伏によって、形態学的にかなり異なった2つの地域が出現している。

1. 北部地帯

Vaccarès の北では、その大部分が耕地となっている昔の水路の堤防と現在の堤防が、多少排水されている葦の生えている沼 (Scamandre, Grand'Mar) で占められている広漠たる平原を貫通している。その水は軟水で夏季はいくぶん変化するがほとんど鹹味はない。しかしながら耕地の拡張とその通路の全部または一部の上で運河の建設のために昔の水路の堤防を利用したかんがい工事とが大いにもとの配置を不明瞭にした。これが Rhône d'Albaron, Rhône de Saint-Ferréol と Rhône d'Ulmet の状勢である。Rhône d'Albaron は地表にいまお見られる最も古い水路のように思われる。たとえそれらの他の水路と海岸線が存在しえたとしても、それらは現在ではデルタの沖積土の下に埋れてかくれてしまった。小 Camargue では西では多くの著者によって記録された最も古い水路の Rhône de Tourradons の存在、北では最も内側の海岸線、la Sylve Godesque の存在が C. Kruit の手掘りから出てきた沈殿物の研究によって否定された。それらの沈殿物が示す地層の粒度測定や微細な動物 (microfaune) の示すところでは、その沈殿作用がこんにちまで次第に緩慢に継続している海と多少とも関連のある入江のような環境が実際には問題である。

2. 南部地帯

カマルグ浅瀬や小カマルグはカマルグの高いところより年代が若く、そこに最初の形態の輪郭がよりよく保有されている。埋没を免かれた古い海岸線や水路が、池や入江によって占拠された凹地から孤立して複雑に隆起した地表の上を網の目に縦横に走っている。

堤防を築いた水路には2通りの形がある。

- a) 急激にその機能を中止した古い支流。それらは若干の幅をもっており、そしてその流れの上流に多少の屈曲をもった1つのリボン状の沼沢地となっている (鉄の支流 = Bras de Fer)。
- b) 漸次に固まり、その水路はその流量の減少とともに少しずつその主要性を失った古い支流 (Rhône de Saint-Ferréol, Rhône de Pecchais)。

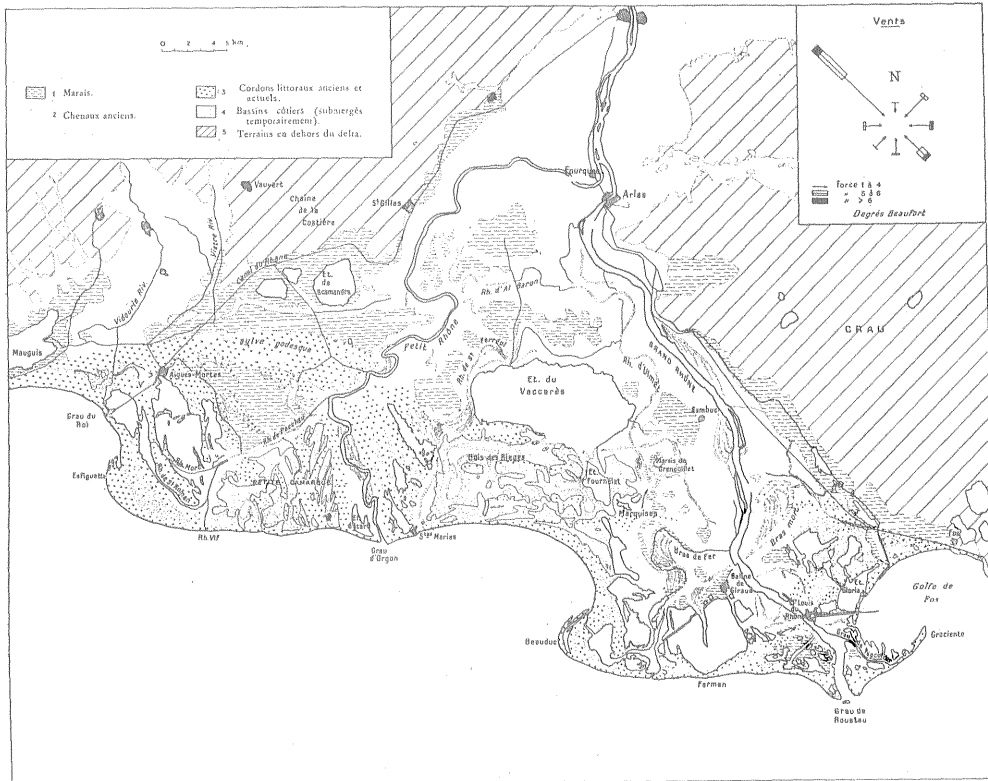
これらの古い水路は洪水による自然的な隆起と多少とも関連をもち、次のことによって作用を受ける。すなわち

—砂洲、その上に砂丘ができることがある。これは河の屈曲の移動からできる堆積物である。

—自然的な隆起の中に掘さくされた第二次的な亀裂または水路、これは氾濫の時に作用する。これらの氾濫は主たる水路の過剰負担を取り除く役目を果たし、デルタ周辺の盆地またはその付近の凹地に流出する。

これらの水路は、岬の発展段階を示す海岸線と多かれ少なかれ常に関係を有する。

もとの Rhône de Saint-Ferréol は長い間活動しており、その河口は漸次に海岸線を構築しつつ次第に南に移動したが、その侵食された南の部分は少しずつ海に呑み込まれた、というのは陸地の後退が、Saintes-Marie 地方できわめて急激であるからである。



第2図 Camargue 地方総図

河流から長いあいだ見すてられた Rhône de Pecchais は一つの大きな岬を作り上げたが、その周囲の海岸線で囲まれた diramations terminales は沈泥の限界を示す。

Uimet 支流および、その南に続く Fer 支流はデルタの東部地帯の露出 (émersion) に貢献した。時として砂丘との見分けが困難な海岸線はデルタの発展の歴史を再生することを可能にする。

西の方では小カマルグは広大な化石の浜で占められており、それはかなりながい時間をかけて安定したもので、これは掘さくの結果それが深く固定しているのが証明された。この一帯はかなり近くの villafranchiens の露頭に属する漂礫 (galets) を包含し、また部分的に非常に豊富な軟体動物の化石を含んでいる。これが Sylve Godesque である。

より新しいそして、その発生が著しく異なっている1つの系統の一帯が、Sylve Godesque にもたれかかってきて、Espiguette 岬の海岸隆起によって海岸のところで取って替わられて

いる第二次的分枝 (ramification) を構成している。

中央カマルグの古い浜の大部分には生物はいない。そして次のような陸地の急激な発展段階を示している。

— Clamadour の砂丘 (破壊の途中にある Rhône de Saint-Ferréol 岬の一部分)。

— Mornez 半島, そこに cardiums 貝が生存しているのは本質的には現在の堆積物に負っており, これは軟体動物が夏季に死滅する運命にあるからである。

— その位置が動物化石がないにもかかわらず, 陸に近い浜が問題であることを示すところの Rièges の森。

— Rhône d'Ulmet の古い河口にある Marquise の砂丘——現在の大ローン岬の連続した線 (cordons successifs)。

— 最後に, 東方においては, Mas Laget および Fos の南部地帯の線。

これらの隆起のあいだに, 部分的に凹地が広がって池 (des étangs) となっており, その形態は特にその地形学的な位置に関係をもっている。これは次のとおりである。

— 葦の沼 (les marais à roseaux), これは河水またはかんがい用運河からくる充分な堆積物を受けている。これらは多くの場合, 平原の北部かまたは夏の蒸発の強いあいだ毛細管現象による揚げ潮を避けて存在するために充分の高さに位置する。それらの池の沈泥作用 (colmatage) は非常に緩慢であるが規則的である。

— Camargue 海岸の中央の池, その最も広大なものは Vaccarès である。これらの池はその特別な位置により, 海岸に平行な一つの大きな堤防すなわち la digue à la mer (海岸堤防) によって分離されている海岸地域の浅瀬から特別な法則によって区別されている。この堤防は martelières を備え, 沖合からの嵐 (SE) のとき海水の浸入から低地を防護する。反対にこれらの martelières は東北風の時には中央の池に集中する水を海の方に排水するために開かれている。

Vaccarès の水面は絶えず拡大している。何となれば相ついで迫ってくる波が, 侵食の速やかな堤防を攻撃するからである。毎年水が崖の大きな稜を呑み込む。崖の下に集積された物質は早速取り除かれ凹地の中心に運ばれ, そしてそこから東北風によって南の方の海に送られる。何となれば池の底が高くなりからである。

この侵食は Saint-Ferréol および Ulmet の水路の放棄と Rhône 支流の堤防構築以来 NW 方向からの嵐の時, 渦流による喪失を充分に補填することができない堆積物に関係がある。

もしも沈泥作用が行なわれないならば, デルタの存在さえもこの現象によってなくなるような結果が生じる。

海岸堤防の南においては, 海岸の浅瀬は同様に風のうねりによって激しい攻撃をうける。しかしその後退は次の堆積による急速な沈泥作用によって補われている。すなわち

a) 崖から引き離され, 浅瀬の凹地の中央に運ばれる沈殿物でその最も小さい粒は流水によって海に運ばれるもの。

b) 北の池 (Vaccarès) からやってくる混濁したそして部分的には海岸の潟に閉ぢ込められた水の傾濁 (décantation) によるもの。

c) 海岸の縁に時として大量に, 波のうねりによって運び込まれる砂の塊。沖合からの嵐の間に波は砂の障害物を乗り越え, その運んできた堆積物をその場所に放棄してこの潟の南の地帯に消える。

小カマルグの西では, 特に動的な比較的形の大きい堆積物の粒の性質により, 池の発達を促進される。

それらの形態はその安定性に貢献する最も完成した面 (maturité des profils) によってめだっている。その同じ安定性は西の方の泥の多い池 (Marette, Repau, Repausset) に作用するが, しかし Rhône 河が長い間これらの地域を見棄てているので, むしろそれは河に生じた堆

積物の古さに負うているように思われる。極端に低い地形面 (un niveau topographique) と老衰するまでに減退した横断面の確立 (établissement de profils transversaux) とによって浅瀬の埋立は非常に進捗し、低くそして Salicornes で覆われた堤防の侵食はほとんどなくなっている。

堆積物

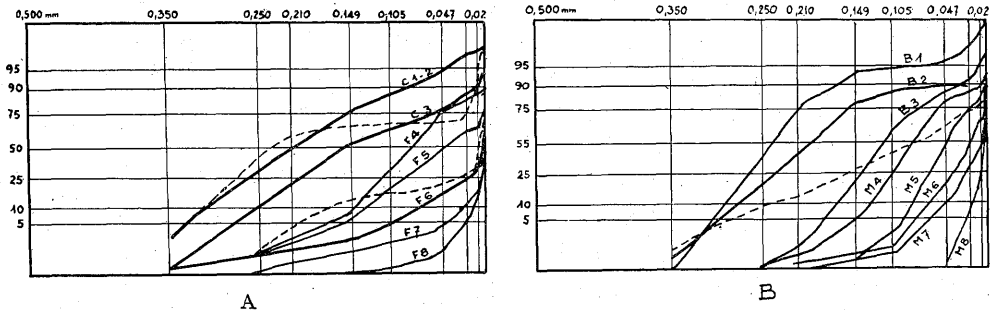
1. 粒度測定

周知のように、堆積物は運搬形式によってその粒度組成 (composition granulométrique) に大きな影響をもつ。デルタ地域ではそれを水力 (河川、海) と風力の2つの形式に分けることができる。

河川の流域斜面 (des bassins versants du fleuve) の排水 (drainage) からくる物質または新しいデルタの下層の堆積物や岸に露出する土地 (特に Aigues-Mort および Fos 旧海岸の漂礫 (galet) からのごく少量の回収物質を定着させるのに、決定的な役割を演ずるのは、風力も無視することはできないが、それは河水、特に海水である。C. Kruit は (avec représentation graphique en courbes cumulatives à coordonnées arithmétique) 算数座標に対して累積曲線グラフであらわす Doeglas 方法を使用して河川および海の堆積物の粒相 (faciès granulométrique) の種々なタイプを区別することができた。

a) 河川の堆積物

水路内における砂の運搬の特徴は、堆積とストックの回収 (reprises du stock) のたび重なる交互作用である (multiples alternance)。これに反して微粒は浮遊物の形で直接的に運搬



A および B : C. Kruit による Doeglas 法の累積曲線

A : 淡水成堆積。C1~C3 は粗粒物質, F4~F8 は泥土および水底の泥

B : 海成堆積物。B1~B3 は粗粒堆積物質, M4~M8 は不連続の小さな物質と2つの混合物

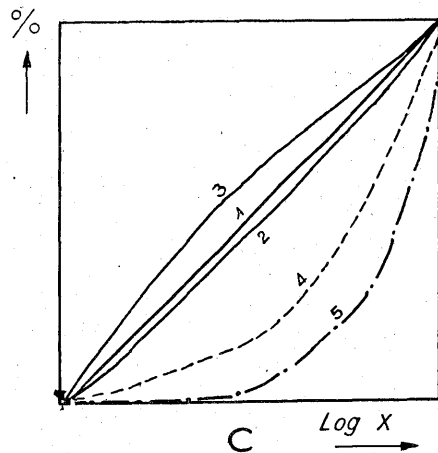
C : C. Duboul-Razavet による A. Rivière 法の累積曲線の基準形式

1, 2 : 浜。ある独立した海浜砂丘, 細腰蜂の砂丘, 泥土およびある水路の堆積物などが示す特性対数相

3 : デルタ海岸。特に Orgon 河口の小砂と泥砂の特性双曲線相 (傾瀉における傾向)

4~5 : 海岸湖と内陸湖の特性放物線相 (侵出現象のための海退的推移)

4 : Galabelt湖 5 : Beauduc 湖



第3図 ローヌ・デルタの堆積物の粒度測定

される。これは固形物の河口までの到着速度をはやめている。

この種の堆積物は水の力 (compétence) の減少により沈殿負荷の不均衡になった沈殿作用に属する。C. Kruit は水路の砂から、天然の隆起や洪水流域の泥土に至るまでの、おもな粒度測定上の新しい型を区別することができた。この泥土は氾濫の時だけ供給されるもので、現在活動中の水路から離れたところで集積されると、それだけ小さく (fin) なる泥土である (第3図 A および B)。

現在の河口のデルタ構造 (formations) はこのグループに属し、このデルタ構造は疏水と接触して非常に早く蓄積するので海の選鉱 (trriage) はこの粒度組織に干渉する暇がない。

b) 海の堆積物

河川の堆積物と同様、海の堆積物も5つのタイプの相に分けることのできる1つの曲線の束 (faisceau) の中にまとめることができる。最も大きな砂、特に波のうねりで運ばれたものは非常によく選別されている。海中の横断斜面でとられたもの (prélèvements) は、粒の平均粒径が、海の深度とともに減少するのを示す。

Orgon 疏水の沖合では河水の影響はさしてなく、堆積物は典型的な海型の粒状分布をもっている。

湾 (Fos) の海底では、海と河の堆積物の区別は不可能である。この区別は少なくとも粒の型が明瞭でない小さい粒に関してはより明瞭である。というのはこれらの沈殿物に働いた水の条件が、たとえ種々な環境で作用したとしても非常によく似ているからである。この事実は A. Rivière (第3図) の規則に適った形をあらわす半対数的 (semi-logarithmiques) の合併カーブが示す形状によってよくあらわされている。浜の粒度測定は発展した (évolué) 対数的岩相 (faciès logarithmique) に属する。岸から遠く離れるにしたがって、その粒度測定結果は漸次傾斜の双曲線的岩相に近づく。

河川の粘土および池の泥は荷重を喪失した沈殿作用に対応する。しかし東北風の期間中は若干の渦で侵食作用 (lévigation) が起こり、細粒物の浸出除去 (lessivage) によって逆に放物線の岩相となり、かくしてそれは一種の発展的な逆行を示す。

2. 化学的組成

a) Rhône デルタの沈殿物は常に石灰岩 (calcaire) を多量に含有するが、その含有物は微細な粒の堆積物を増加する。泥土 (limons) や泥 (vases) は 39% の CaCO_3 を含有する。

これらの炭酸塩の岩石学的研究によれば、その碎屑の原因は河流の斜面やその支流を構成する石灰岩の大きな露出に関係があることを示している。しかし渦の海岸地方では堆積物中に炭酸塩の小さな破片があるのを否定できない。このことは海岸にある池の周囲において、バクテリアによる醗酵の直接的な作用を証明しうる砂と土砂との凝固現象の存在によって明らかにされている。微生物は培養体の pH をアルカリ性につつ、アルカリの保留を低下させることによって炭酸塩の沈殿と移動物質の凝固とを生ぜしめる。

b) デルタ全体の粘土は重要な鉱物学的差異を示している。沈殿した粘土の性質においては、鉱物学的なこれらの差異は、堆積物の起源に関係を有し、そして沈殿環境の性格からは大きくかけはなれている。これらの差異は特に支流の氾濫および河の斜面流域の侵食の作用によるものである。

c) 低地 Camargue 渦の大多数の渦においては、夏季の加塩作用と一時的浸水と冬季の脱塩作用と氾濫との交互作用によって、溶解酸素の欠乏、加塩作用および高温とによるリズミカルな性格をもたらす。そこから異位元素 (hétérotrophe) バクテリアの破壊と生物体の大量死滅が結果される。ただ euryhaline バクテリアだけは繁殖することができ、記録によると硫黄分の少ないそしてメタンガスを生ずる植物の分布があげられている。好気細菌の有機物質の攻撃はほとんど完全に停止している。嫌気細菌 (anaérobic) の繁殖は秋に沈殿物の深いところで行なわれるが、雨季がきて自由水になると停止する。

池の生物化学に対するこの変化の影響は決定的である。

夏になって pH が低下すると、数々の混合物 (特に燐と炭酸塩との混合物) が除去される。これらの混合物は、溶解しやすくなっており、それらがなくなってもそのままに残留することができるそれらの遠くはなれたもとの古巣 (Vaccarés, Fournelet) へ溶解しやすい塩酸水の形態で (par les eaux sous forme, de sels acides soluble) 運ばれるのである。

この化学分析の結果は、沈殿物の豊富な有機物質に対する堆積物の粒度測定の影響と、粘土質の海底を貧弱にするばかりでなく、その含有量の低下をもたらす堆積物の速度と浸出現象との影響を明らかにするものである。

最後に炭化水素有機物の破壊は堆積物の蛋白質の含有量に大いに関係がある (Galéjon, Gazettes 橋付近の Rhône mort)。

デルタ周辺の微生物化石 (microfaune)

このデルタを支配している生物棲息空間 (biotope) のはなはだしい多様性、季節による環境条件の変化、特に低地 Camargue 潟の水の塩度との変化とは Foraminifères と Ostracodes との、動物群の種々の関連性と、そしてこの急激な変化に適応し得ないいくつかのグループを乱暴に除去することを予知せしめる。

C. Kruit によって企てられたこの特殊のでも特質的な微生物化石の研究によって、次のようないくつかの特徴的な型のグループがあることが証明された。

1. 淡水環境にあるグループ
2. 鹹味のある池にあるグループ
3. 海のある環境にあるグループ

しかしながら作用する大多数の要因はこれらの3つの主要グループの中間タイプをあらゆる混合型を部分的にあらわす。

1. 淡水環境

淡水や鹹味の少ない水の沼が現在の河口の付近やデルタの周辺に広がっている。これらの沼は多くの場合厚い葦で覆われている。中央の凹地には *Cypridopsis* と *Trochammina inflata* が生えている。*Hyocypris Bradyi* (SARS) と *Herpetocypris chevreuxi* (SARS) はその岸辺を特徴づけている。

鹹水の Ostracodes および Foraminifères は以上から除外される。ただしより鹹味が強いところ、または以上のほかに次の種を包含する堆積物のところにあるものは別である。すなわち中間環境の特徴をなすところの *Haplophragmoides canariensis* (d'ORB.), *Rotelia Beccarii*, *Nonion depressulum*, *Heterocypris salina*, *Candona* がそれである。

2. 鹹味ある池

特にカマルグ浅瀬の潟の懐やまた特殊の場合として海岸の潟に鹹味の強い池が存在する。そこを支配している非常に変化しやすい物理化学的な条件は有機物の発育に対してきわめてきびしい。これらの条件は多くの種を除去する。そしてこの不利な作用に抗するものは少ないが、それでもその代表的なものはこの環境の中で急速に発育する。これらは *Cytheromorpha fusca* および *Loxococoncha elliptica* と関連 (associées) する *Cyprideis littoralis* および *Rotelia Beccarii* でこれらは古い沈殿物の中よりも掘さくによって貫通された新しい地層 (niveaux) に豊富である。

3. 海の環境

海の環境は多数のそしてきわめて多種類の微生物化石を含んでいる。

純粋の海の地域では岸からの距離により、一層正確にいえば海の深度に従って2つのグループがある。

しかしそれは一時的な関連による分離である。それらの測深限界は単なる深度というよりも



A: 第1段階。原始海岸線, Ulmet Rhône 河, Albaron Rhône 河の位置
 B: 2つの水路による岬の形式
 C: Pecchais Rhône の形成とその発展
 D: ローマ時代。Bras de Fer (鉄腕) の出現
 E: Bras de Fer の大拡, Rhône de Saint-Ferréol の堆積作用
 F: 現状

1. 沼地 2. 海岸線と渦 3. 現存する水路 4. 埋積された水路

第4図 C. Kruit によるローン・デルタの発展段階図

水の(波)渦度(turbulence)に依存しているものようである。すなわち *Nonion asterizans* および *Cytherideis* グループ, これは深度 12~25m のところにある海底まで降る。

Textularia elegans および *Pterigocythereis Jonesi* グループ, これは反対に 15~30m のところにあらわれる。

Rhône 河口付近のような淡水の堆積物の影響がある河と海との沈殿環境にあっては, 淡水

から得られる微生物化石が存在することは明白である。海底(0~70m)の上層においては急速な沈殿作用は生物の発育を妨害する。ただ *Quinqueloculina cecimula* var. (変形) *longa forma cucumis* は生き残り、そこで増殖する。

海底デルタの(70~90m)の下層の部分においては、種類はもっと多くなり、個別化は比較的豊富になる：*Haplophragmoides glomeratum*, *Triloculina trigonula* 等。

同じく入江の海底はかなりの固有の性質をもち、他の海の種類と区別ができる。

以上に取り扱われた微粒化石や典型的な海の種類は別として *Triloculina longirostra* はその繁殖に都合よい産地をこの湾の中に発見するようにみえる。というのはそこで急速にふえているからである。

古い堆積物

デルタの露出と発達段階

デルタを縁どる砂利地は、あまり化石がないので、いささか独断的であるが上部鮮新統(Villafranchiens)に属しており、この砂地は最近の沖積世砂土(sous les alluvions sablo-vaseuses)の下を通して南の方へ傾斜している。その砂地の覆蔽(recouvrement)はデルタの頂部において最近の構造運動(mouvements tectoniques)の結果によって起きる褶曲によって容易にされている。

Camargueでは古い第四紀, Sicilien, Tyrrhénien層の露出は非常に少ない。周知のように現在では、それらが包含する軟体動物によってその年代を知られるクリッペ(lambeaux)が2つほどある。その位置はデルタの西端である。これらは Sète 沖の Sicilien 砂岩と Carnon 沖の Tyrrhénien 砂岩である。

この最後のクリッペは海岸線のすべての性質をもっているが、Camargueの小さい堆積物の下で作られたことを証明する何ものもない。何となればこの沈殿物はその深さが非常に小さいので(-8~-12m)漸次東へ低くなり、Roi 疏水の正面において河流の大きな沖積土と接触して軽い沈下運動を描きつつ姿を消すように思われるからである。

ごく最近になって礫岩があらわれている谷間が充填されたのは急激な flandrienne の海浸の時であるとされているが、この期間中に海水が0のところまで上昇した。しかし flandrienne 海浸の岸は Camargue の頂部までは到達しなかった。この岸はようやく Sylve Godesque 海岸線, Vaccarès, Fournelet 池, Grenouillet 沼の近くに止っている。この境界の南に潟と海の岩相の全体が位置している。反対に北の方では、河—湖沼の(fluvio-lacustres)堆積物とその充填(remblayage)確保している。

礫岩の水中沈下の函数であるところの微細な堆積物の厚さは、Saintes-Maries(54m)においてその極大に達し、そこでは河流による沖積土の形成が最も盛んであったし、そして最も永続するであろう(Rhône de Saint-Ferréol)。

第四紀の古い岩堆(bancs rocheux quaternaires anciens)の低下以外に、海面下に若干の古い崩壊が(Saintes-Maries)存在すること、および現在では埋没している古い海岸の若干の陥没とは、最近の堆積物が本来的にもっている泥の多い傾向による地方的な圧縮にもかかわらず、それによってこの地方が影響をうける弱い沈降(subsidence)を証明する。

地質調査器で採取される標本の分析によって、7,000年以來のデルタが漸進的に発達した歴史を作ることができる(第4図参照のこと)。