

海洋의 微少懸濁物質 (綜說)

崔 相
韓國科學技術研究所

SUSPENDED MATERIAL IN THE OCEAN (Review)

Sang Choe

Korea Institute of Science and Technology

머 리 말

해양에 있어서의 生物體의 에너지 循環, 즉 해양에 있어서의 生産體系에서 이중 먼저 基礎生産體系만이라도 그 全像을 把握하자는 일은 먼 옛날부터 海洋生物學者들의 진지하고도 끊임없는 追求對象이었다. 해양에는 莫大한 量의 바닷물이 잠겨있고, 이곳에는 엄청난 量의 生命體가 涵養되어 있으며, 이것들은 被捕食者——捕食者의 系列에서 어떠한 均衡狀態를 이루고 있는가 하는 問題는 極히 興味가 진진한 問題이다. 해양에 涵養되는 無數한 生命體들은 間斷없이 明滅, 消長만을 거듭하고 있다는 詩的인 形容과 連想은 한층 더 具體化되어야 한다. 이러한 傾向은 또한 近來의 世界人口의 激增에 對備하는 人間의 食糧 調達의 必要上, 海洋이 지닌 潜在的인 食糧生産의 餘力を 再評價하자는 氣運에서 한층 더 拍車가 加해졌었다. 食糧生産의 實庫로서 海洋에 주어진 責務는 크기만 하다.

해양에 잠겨있는 莫大한 量의 바닷물은 긴 年月에 걸쳐 自然이 調製한 훌륭한 하나의 培養液이라고 볼수 있고, 이것의 多角的인 利用開發은 지금부터 시작되었다고 해도 過言이 아니다.

近來에 이르러 各種機器 및 測器의 發達에 따라 海洋의 物理, 化學 및 生物學의 微細構造가 漸次的으로 解明됨에 따라 海洋學에 있어서의 古典的이고 傳統的인 概念에 修正을 強要하는 事態가 적지않게 일어나고 있다. 海洋의 基礎生産體系에 對한 概念도 크게 飛躍하고 있으며, 海洋에 있어서의 植物플랑크톤 → 動物플랑크

톤 → 小形動物 → 魚類를 連結하는 一方通行的인 食物連鎖概念을 크게 擴大하고 飛躍시키지 아니하면 안될 여러가지 事實이 들어나고 있다. 海洋의 生物生産系의 基礎的인 役割을 하는것은 植物플랑크톤, 데트리타스 (detritus) 등을 포함한 微少懸濁物이라는 것은 틀림이 없으나, 이것들이 生命物質 起源이 아니더라도 物理現象으로 일어나는 氣泡를 媒介로 하여 生成할수 있는 可能性이 提示되었다. 여기서는 이러한 海洋의 微少懸濁物에 關한 研究에 對해서 그 意義와 研究結果를 要約 紹介하여 海洋學徒들의 參考로 한다. 이 綜說을 꾸미는데 Jørgensen (1962), Riley (1963), Parsons (1963), 西澤 (1966) 등의 같은 토픽스에 關한 綜說을 많이 參考로 한것을 附記한다.

海洋의 基礎生産系

해양에서의 基礎生産者는 물속의 顯微鏡的인 植物플랑크톤과 沿岸海域의 海藻類 및 極少數의 顯花植物들이다. 周知한 바와 같이 이것들은 물속에 溶解되어 있는 各種 營養鹽類와 太陽光線을 利用하여 有機物을 生産한다. 現在 概略的인 推算에 의하면 1年間に 全海洋에서 生産되는 植物體의 量은 무려 1,300億톤에나 達할것이라고 하였으며 (Gulland, 1968), 1966年의 世界의 總漁業生産量 5,000萬톤과 比較하면 그 利用率은 0.037%에 지나지 않다.

해양에서의 基本的인 有機物生産은 植物體에 의한 太陽에너지의 利用狀態, 植物플랑크톤의 現存量, 營養鹽類의 利用度, 環境水温등에 의하여 一次的인 影響을 받고, 二次的으로 深層水의

補充, 臨界水温, 水塊의 混合層의 두께(Brandhorst, 1958)등의 影響을 받으면서, 이것들의 綜合的인 成果로서 이루어지게 된다. 海洋에서의 有機物 生産에 關係서는 Ryther (1956), Strickland (1960), Doty and Capurro (1961)등의 훌륭한 綜說이 參考가 되겠다. 그러나 여기서 看過해서는 안될것은 海洋의 有機物 生産體系에 있어서 生物學的, 化學 및 物理學的 要因의 詳細한 影響은

거의 모르고 있다는 事實이다. 沿岸과 淺海海域을 除外한 純海洋域의 有機物 生産은 第1圖와 같다.

海洋에 있어서의 食物連鎖의 第1課인 植物플랑크톤은 動物플랑크톤 또는 各種 小形動物에 捕食 당하게 된다. 特히 植物플랑크톤과 動物플랑크톤의 現存量의 相互關係에 對해서는 많은 研究 結果가 알려져 있고, 海域과 季節에 따라서 많은

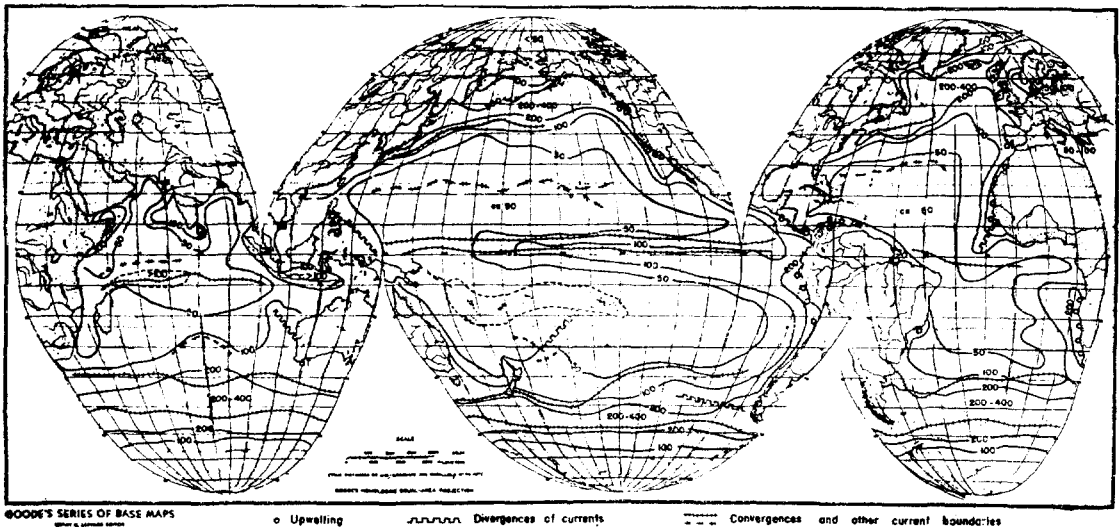


Fig. 1. Estimation of basic organic production in the oceans ($gC/m^2/year$); after Brock, Doty, Hiatt and Leavasta, 1963.

差異가 있다. 이러한 結果를 綜合하면 單位水塊當의 植物플랑크톤 : 動物플랑크톤의 重量比는 0.1~50에 이르르고 있으며, Zenkevitch (1947)는 北極海의 調査에서 冬季에 8, 春季에 20, 夏季에 2.5라는 數字를 報告하고 있고, Krey (1953)는 南西北海海域에서 2-3월에 0.1, Harvey (1950)는 푸르르스遠海에서 年中 1.7-3.1, Ketchum (1962)는 살갓소(Sargasso)海에서 3.3~50이라는 數字를 報告하고 있다.

植物플랑크톤과 動物플랑크톤의 年間消長은 海域의 緯도에 따라 各各 特徵있는 모습을 보여주고 있고, 寒帶, 溫帶 및 熱帶海域의 特徵相은 第2圖와 같다. 먼저 寒帶域에서는 春季와 夏季에 溫帶海域에서는 春季와 秋季에 植物플랑크톤의 顯著한 大增殖이 일어나며, 熱帶海域에서는 年中에 걸쳐 뚜렷한 季節的인 大增殖 現象은 나타

나지 않는다. 이러한 植物플랑크톤의 增殖에 隨伴하여 動物플랑크톤의 量도 各各 特徵있는 年間消長을 하고 있다.

데트리타스

海洋學, 湖沼學에서는 예전부터 데트리타스(detritus)란 말이 널리 使用되어 왔다. 그 定義는 明確치 않았으며, 막연하게 물속에 있는 生命이 없는(non-living), 各種 形態의 微少有機質의 粒子라고만 理解되어 왔다.

데트리타스란 말은 라틴語의 *deterere*에서 派生된 것이며, rub-away 한다는 뜻이고, 元來는 岩石의 碎片이 loose한 모습으로 된것을 의미한다. 이것이 轉義되어 어떤 有機的인 全體形에서 그 一部가 崩壞하여 規則없이 떨어져 나온 斷片 또는 破片을 뜻하게 된 것이라고 解釋된다. 이

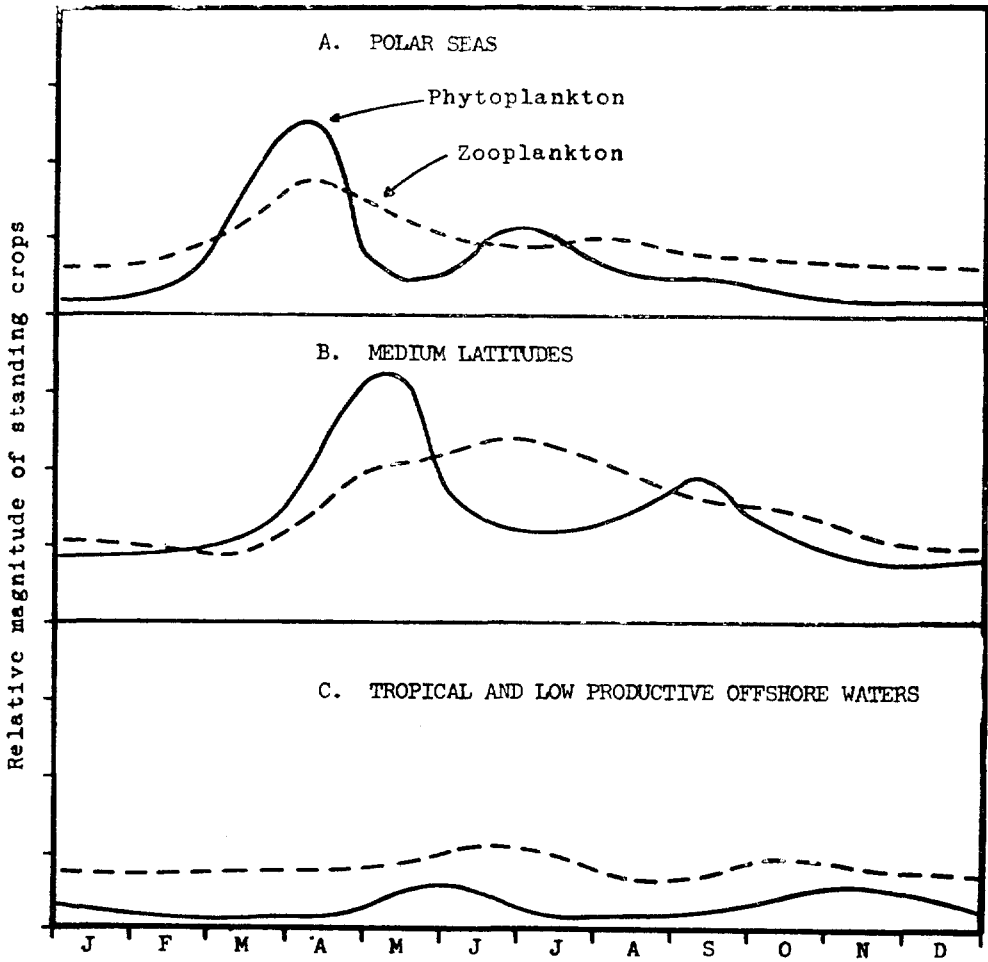


Fig. 2. The seasonal cycles of the plankton communities (after Cushing, 1959 and Heinrich, 1962).

리하여 現在 海洋學, 湖沼學에서는 데트리타스는 물속의 動, 植物의 遺骸, 甲殼類의 脫皮殼 其他生物의 屍의 斷片등이 主要構成物로 되는 보잘 것 없고도 無秩序한 有機物質의 덩어리라고 解釋되고 있다.

모든 生命體의 屬性으로서 植物 및 動物플랑크톤類도 一定한 壽命이 있고, 또 生細胞의 一定部分은 自然死를 하는 것이라고 생각되고 있다 (Riley and Bumpus, 1946). 春, 秋 2回의 大増殖을 이루어 갑작스럽게 消滅되는 植物플랑크톤들은 그 繁殖의 制限要因이 榮養鹽이든 또는 다른 未知의 要素이든 결국은 繁殖에 부레이크가

걸려 衰退, 枯死過程을 밟게 되는 것이며, 榮養失調에 걸려 枯死한 細胞群들은 얼마동안이나 바다의 生産層內를 方向없이 헤메다가 自重에 의하여 점점 沈下되어 갈 것이다. 活力이 팔팔한 植物플랑크톤도 浮遊機構의 機能이 作用된다고는 하지만 역시 自量에 의해서 沈下現象이 일어난다. 살고 있는 植物플랑크톤의 沈下速度는 많은 研究者에 의해서 測定되어 있으며, Hagmeier (1961)에 의하면 過去 50年동안에 報告된 速度의 範圍는 1日間에 0.03~20 m 까지의 모든 값이 마련되어 있다고 하였다. Riley et al. (1949)에 의하면 無理하게 植物플랑크톤의 沈下速度의

平均値를 求한다면 1日當 2.9~4.2m 가 될것이라고 하였다. Hagmeier는 植物體의 比重을 1.1로 하여 물의 流動에 의한 沈降의 誤差가 없다는 前提에서 1日當 約 1m의 沈下速度가 妥當할것이라고 하였다. 이것들은 前述한 바와 같이 living cell에 限한 것이나, 죽은 細胞에도 適用할수 있다면 테트리타스가 無事하게 2,000m의 海底에 到達하는데는 1.5~6年이라는 年月이 所要되는 計算이 된다. 그러나 이것들이 所要時間끝에 無事하게 海底에 到達하는가는 別問題이다. 生産層 밑에 躍層이 發達하고 있으면 그곳에서 豫期치 않는 長時間의 滯溜가 強要될것이고, 또 深層海流에 의해서 엉뚱한 곳으로 運搬되는 수도 있을것이다. 그동안에 外殼은 破壞되어 內容物이 浸出되고, 이것에 또한 各種 細菌類가 附着繁殖하여 점점 分解되어 갈 것이다.

이러한것이 테트리타스의 원칙적인 形成過程이라고 알려져 있으나, 한편으로는 植物의 增殖을 最終적으로 制禦하는 것은 動物에 의한 捕食이라는 觀點에서 捕食된 植物體는 糞便으로서 排泄될 것이다. 그러니까 테트리타스의 相當部分은 動物의 糞便으로 構成된다는 생각도 有力하다.

大部分의 海産魚類는 存在하는 植物의 量에 따라서 먹는 水量을 加減하지는 않으니까 (Marshall and Orr, 1955; Conover, 1959), 植物體가 豊富할적에는 多量の 植物을 攝取하게 된다 (Harvey et al., 1935; Marshall and Orr, 1962). 그러나 이것들은 모두가 消化되지 않으며, 이것들은 未消化物로서 또다시 海水중에 排出하게 된다. 이것들도 테트리타스의 形成에 重要な 役割을하는 것이라고 생각되고 있다.

海水중에 懸濁하는 無生命의 小形粒子의 本體는 이와같은 動植物의 遺骸, 몸의 斷片등이 中心이 되어, 또 이것에 細菌類가 加擔되어 새로 形成된 無秩序한 有機物의 凝集體라고 하는 생각은 결코 새로운 것이 아니다. 그러나 그 生物學的意義와 그 定量的 研究는 좀처럼 이루어지지 못했다. 이것의 先驅의인 業績은 Armstrong and Harvey (1950)에 의하여 이루어졌다. 그들은 英國海峽에서 海中懸濁物의 各루렉선의 磷酸鹽을 季節적으로 追跡하여, 海洋에서의 大部分의 有

機物質은 테트리타스라고 하고, 特히 春季의 植物플랑크톤의 大增殖後에 顯著하게 많이 나타난다고 하였다.

이어서 Tsujita (1953 a, b, c, 1956)는 日本近海海域의 플랑크톤에서 派生하는 大型 懸濁物과 그 形態的인 特性에 關한 研究를 展開시켜, 多量의 大型 有機懸濁物은 플랑크톤이 죽은 뒤 細胞內容物이 浸出되어, 이것이 基質이 되어 다른 微少生物 또는 無生命의 有機體가 凝集되어 形成된 것이라고 하였다. 그리고 그는 植物의 現存量은 海洋生態系의 同化系라고 하면 有機懸濁物은 그 異化系의 巨視像이라고 하였으며, 前者가 存在하는 한 後者는 恒常 隨伴되는 것이라고 하였다.

한편 Rodina (1963)는 湖沼의 테트리타스에 關해서 같은 內容의 觀察을 하고 있으며, 食腐植湖의 重要테트리타스는 植物의 死骸와 그 分解物, 動物死骸의 分解物, 水生植物의 表皮分解物, 막대한 數量의 細菌들이라고 하고, 이 細菌이 테트리타스를 變形시켜, 또 小粒子가 뭉쳐서 한층 더 큰 集積體 (conglomerate)를 만든다고 하였다.

이러한 觀察들은 플랑크톤의 遺骸의 形態的인 追跡에 그 意義가 있고, 懸濁物質의 本質의 解明은 아직 먼 距離에 있는것이라고 하겠다. 여하튼 廣大한 海洋 生態系의 同化系에서 생기는 異化系는 아직 그 巨視의 映像만을 크로스·업시킨 정도이며, 이것의 正體에 關한 把握은 現在 急進적으로 進展되고 있다고 하겠다.

테트리타스의 量과 分布

自然現象의 조그만한 觀察과 發見이 우리의 常識을 改革하게 하는 動機가 되는 일은 가끔 있을수 있고, 또 우리는 이러한 事實을 많이 알고도 있다. 海洋의 生産系를 支配하는 根源的인 役割을 하고 있는 것은 살고 있는 아름다운 形態를 갖춘 植物플랑크톤群이라고만 생각했었다. 그래서 Steemann-Nielsen (1952)의 方法에 의한 海洋의 基礎生産研究가 疾風波濤와 같이 精力적으로 이루어지게 되었으며, 이것은 그 나름으로 많은 成果를 얻게 되었다. 그러나 基礎生産의 測定

은 이것만으로서서는 充分치 않다는 생각이 恒常 머리속에서 떠나지 않았고, 또 이것이 事實이라는 事例가 漸次的으로 들어나게 되었다.

지금까지 물속의 보잘것 없는 찌꺼기로서만 無視 當하든 네트리타스가 意外에도 重大한 使命을 띠고 있는 事實이 밝혀져 갔다.

Jerlov (1951, 1953)는 1947~1948 年の 스웨덴의 알바트로스 (Albatross)號의 深海探檢에 參加하여, 킨달·미터 (Tyndall meter)에 의한 바닷물속의 懸濁粒子 調査를 하였었다. 그의 報告에 의하면 大洋의 表層水에는 恒常 多量の 粒子가 떠 있지만 深海의 물속에도 적지않은 粒子가 發見되어, 그것이 때로는 極大值로, 때로는 極少值로 나타나, 그 變動이 심하다고 하고, 이것은 深層의 酸素極少層과 連關이 깊다고 하였다. 深海의 海水는 깊이에 따라 점점 淸明해질 것이라는 우리의 想像을 뒤 없었었다.

Jerlov 에 앞서 獨逸의 J. Joseph 는 1946 年에 濁度計를 試作하여 北海를 縱斷觀測하고, 海洋의 濁度에 關한 좋은 成果를 남겼다 (Joseph, 1953, 1955). Joseph 는 北海에서는 夏季에 40 m 깊이에 水温躍層이 形成되어 이 躍層에 많은 粒子가 蓄積되어 있다는 事實을 究明했다. 躍層에 微少

粒子가 蓄積되어 있는 것을 그는 Trübungsschirm 이라고 불렀다.

Krey (1954)는 Joseph 의 成果를 한층 더 파고 들어 海中微少粒子에 對한 廣範圍하고도 精力의 인 調査를 遂行하여, 바다의 세스톤 (seston)과 植物量에 關해서 다음과 같은 놀라운 決論을 내렸다. “바닷물속의 植物量은 세스톤량의 10%以下이며, 實際로는 1% 以下인 경우도 있다”. 단지 Trübungsschirm 안에서는 一般的으로 植物量이 3-7% (例外的으로 11.0~49.4%)의 高值를 나타내는 경우가 있으나, 이런것은 特히 躍層直下에서 나타났었다고 한다. 또 躍層에는 물론 세스톤이 많으나 세스톤량의 極大는 恒常플랑크톤의 極大의 直上層에 나타난다고도 하였다. 이것은 놀라운 事實이다. 北海全域을 平均하면 懸濁物중의 植物量은 2~5% 에 지나지 않을 것이라고 하였다. 지금까지 存在價値를 認定받지 못한 네트리타스가 세스톤의 主要部分이라는 數量的 背景을 가지고 우리에게 強力하게 接近해 왔다. 數量이 많다는것은 무서운 일이며, 이것은 無視할 수가 없는것이다. 또한 이것의 大部分이 有機物體의 同系列에서 派生된 것이라는것을 想起할 적에 그 存在를 그대로 放置해 둘수는 없었던 것

Table 1. Seston and detritus in the Southern North Sea on March 1953 in miligrams dry weight per liter (from Hagmeier, 1960).

	Hoofden		Doggerbank		Austergrund		Deutsche Bucht	
	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom
Seston (S)	1.94	3.98	0.78	0.90	0.48 — 0.69	1.24 — 2.95	1.66	2.01
Plankton (P)	0.012	0.022	0.361	0.481	0.017—0.136	0.019—0.133	0.022	0.011
Detritus (D)	1.93	0.396	0.41	0.42	0.35 — 0.67	1.11 — 2.94	1.64	2.00
B/S × 100 (%)	> 99	> 99	54	47	72—98	89—> 99	99	> 99

Table 2. Mass of living material and detritus found at 54°31'N, 10°03'E in micrograms dry weight per liter (from Krey, 1960).

	1958		1959		1960	
	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean
Seston (S)	210—2,530	977	720—1,960	1,272	336—4,720	1,834
Living substances (L)	20— 850	284	100— 630	287	140— 620	329
Detritus (D)	105—1,678	685	313—1,736	987	63—4,050	439
L/D	0.73—17.5	5.0	0.60—15.8	5.4	0.23—20.2	7.1
D/S × 100 (%)	42—95	72	38—94	75	19—95	71

이다. 이하하여 데트리타스에 관한 연구가 갑자기 擡頭되어, Krey (1956), Banse (1956, 1957), Hagmeier (1960, 1962) 등 주로 獨逸의 海洋學者들에 의해 많은 연구가 이루어졌었다. 이러한 成果는 Krey (1960)의 *Der Detritus im Meere*에 集約되어 있다. Krey는 여기서 바닷물 속의 全세스톤에 對한 生命體 (living organisms)의 比率는 季節的으로, 또 海에 따라서 크게 變動하나 데트리타스의 恒常的인 優位出現은 確固不動한 事實이라고 하고, 그러나 이것이 무엇을 意味하는가는 아직 不明하다고 前提하면서 다음과 같은 推定을 내리고 있다. 즉 海洋에서 植物體는 橈脚類, 살파類, 翼足類 등 大型 動物플랑크톤에 의해서 相當히 急速的으로 捕食되는 까닭으로 이러한 過程에서 산 植物體가 적고 데트리타스가 優位하게 나타나는 것이라고 생각된다고 하였다. 參考로 Hagmeier (1960), Krey (1961)에 의한 北海에 있어서의 세스톤量에서 植物의 living organisms와 데트리타스의 重量比에 관한 資料를 紹介하면 第 1, 2 表와 같다.

데트리타스의 價値

Harris (1959)는 Long Island Sound를 中心으로 하는 海域에서 窒素化合物 各態의 循環에 관한 年間消長을 細密하게 追跡하여, 特히 全粒狀 窒素의 季節的 循環은 플랑크톤 窒素의 그것과 部分的으로만 一致될 뿐이고, 또 兩者의 差인 데트리타스+細菌의 窒素量이 全粒狀 窒素에서 차지하는 比率는 冬期에 70%, 晩冬의 硅藻類의 大増殖期에 10%, 大増殖期 後期에 80% 春期에 40%, 初夏에 20%以下가 된다고 하였다. Harris는 이 훌륭한 論文에서 窒素循環에 對해서 獨特하고도 多彩한 生態學的 說明을 試圖하였으나, 무엇보다도 注目될 것은 植物窒素의 供給量이 動物의 要求需要量을 充足시키지 못한다는 點이다. 그의 實驗에 의하면 動物의 窒素要求量의 50~85%는 암모니아로서 排泄되고, 이 많은 量의 窒素排出은 곧 植物에 吸收되는 것이나 이것은 植物의 窒素要求量의 70%以上을 充足시키고 있다고 한다. 植物-動物系의 安定度

는 實은 兩者間의 이러한 암모니아의 急速交換에 依存되는 것이라고도 볼수 있으며, 夏季의 水中의 全無機窒素 保有量은 植物의 1日의 要求量에도 未洽하다고 하였다. 이러한 現象은 다른 많은 海域에서도 詳細히 把握되어야 한다고 생각되나, 動物에 의한 이러한 大量의 암모니아排泄은 無生物的인 粒狀窒素 즉 데트리타스 一數量的으로도 植物플랑크톤을 壓頭的으로 凌駕하는 一가 捕食의 對象이 되지 않으면 說明할수 없다는 決論이 나오게 된다.

이러한 海水중의 生命없는 有機物의 優越現象은 果然 北海와 Long Island Sound 등 一部 大陸棚의 豐沃한 海域에만 限한 現象일까. McAllister, Parsons and Strickland (1960)는 알라스카灣의 P 定點에서 採水한 表層 50m의 混合試水에 對하여 全粒狀炭素와 植物炭素를 求하여 그 殘差, 즉 데트리타스가 全體의 78.2~89.6%에나 達하는 量을 차지하고 있는 事實을 捕着하고, 또 全粒狀 炭水化合物과 植物 炭水化合物에 關해서는 그 殘差 (데트리타스)가 全體의 41~78%인것에 對해 蛋白質에 關해서는 데트리타스가 全體의 79~94%에나 達한다고 하였다. 그리고 또 놀랍게도 데트리타스의 蛋白質:炭水化合物의 比가 特微的으로 높은것을 指適하였었다. 이것은 植物플랑크톤類의 蛋白質:炭水化合物의 比가 一般植物보다 훨씬 높은 事實을 생각하면 當然한 일이라고 하겠으나, 쓸데없다고 생각했던 찌꺼기가 이렇게 蛋白質이 많고 榮養이 있는 먹이로서의 要素를 具備하고 있다는것은 重大한 일이었다.

生産層의 데트리타스의 垂直分布는 125 mg C/m³로서 거의 均一하며, 1,000 m의 깊이에서도 約 60 mg C/m³ 정도는 存在한다. 따라서 이것을 全水柱로 換算하면 莫大한 量이 될것이다. Parsons and Strickland (1962)는 定點P에서의 測定資料를 整理하여 北東太平洋의 水柱 1 m²當 全粒狀物質은 적어도 500g에나 達하고, 이중 살고있는 植物플랑크톤의 量은 約 1g 정도에 지나지 않을 것이라고 하였다.

無形에서 有形體로 —— 氣泡의 作用

1962년도 늦게 Deep-Sea Research, 第 9 卷

2號에 短報로서 5 page의 論文이 掲載되었다. Baylor, Sutcliffe and Hirschfeld의 “Adsorption of phosphates onto bubbles”가 그것이다. 그들은 Millipore filter로 濾過한 (물속의 粒子를 除去한 것) 海水와 天然海水에 各各 Millipore filter로 濾過한 空氣를 bubbling하면 時間의 經過에 따라 海水중의 無機磷酸鹽 濃度は 指數函數的으로 減少한다고 하였으며, 200 cm³/min의 送氣率에서는 24時間以內에 PO₄ 濃度は 1.0 μg-atom/L에서 0.01 μg-atom/L로 減少되었다고 한다. 이때 人工海水 및 PO₄의 蒸溜水溶液에서는 같은 條件下에서 PO₄ 濃度에는 아무런 變化가 없었다고 하였다.

또 海水에 氣泡를 發生시키면 海水중의 PO₄濃度は 顯著하게 減少되나, 水表面에서 破裂하는 氣泡水를 收集한것의 全磷의 量은 顯著하게 增加하고, 또 充分量을 收集했을때는 肉眼으로 明白히 認知할수 있는 白濁이 생긴다 (Sutcliffe, Baylor and Menzel, 1963). 이것은 無機의 磷酸은 氣泡의 表面 즉 氣水界面에 結束되어 氣泡와 함께 水表面으로 運搬되므로서 나타나는 現象이며, 生物體의 媒介가 없어도 (Millipore filter로 粒子가 除去되었으므로) 純粹한 物理, 化學的 作用에 의해서 이루어진 것이다. 그리고 그들은 xylo로 抽出한 海水에 氣泡를 發生시키면 PO₄의 減衰係數가 1/3 정도 작게 되는것을 證據로 海水에는 어떠한 表面活性의 anion binder 또는 binder가 있어서 이것이 關與하는 것이라고 생각하였다.

이러한 單純한 實驗結果가 暗示하는것은 海水중의 溶存有機物이 어떠한 界面에 吸着되었을때 單純한 可溶體에서 單分子層으로 또는 多分子層으로 成長하여 이것은 膠質樣 物質 또는 纖維狀 薄膜으로 發展하는것이 아니냐는 것이다. 이것은 놀랍게도 原始海水에서 生命體가 發生하는 推測過程과 비슷하다! 萬一 이러한 吸着이 氣泡의 表面에서 容易하게 일어난다면 吸着된 物質은 氣泡와 함께 많은 部分이 海水表面으로 移動하게 될 것이다.

그러나 이러한 現象은 氣泡가 없어도 일어날 수 있다. 벌써 Adam (1937)은 거의 모든 自然水面이 어떠한 有機單分子層으로 덮여있는것을 表

面張力 既知의 油滴의 spreading pressure를 測定함으로써 確認하고 있었다. 氣泡以外の 物속에 이미 있는 粒子들도 界面으로서 作用할것이다. 물속 깊게 내려간 氣泡는 물속에서 消滅된다 (Branchard and Woodcock, 1957). 이때 表面을 싸고있든 有機物의 層은 粉碎되어 곧 膠質樣 物質이 形成될것이다. 또 More (1953)는 海中 또는 海面의 氣泡가 有機被膜에 의하여 安定되어 있는 事實을 實驗的으로 提示하였다.

Sebba (1962)는 ion floatation이라는 界面化學의 技術을 利用하여 海中에서 有用物質을 回收할수 있다고 하였다. 陽이온의 表面活性 物質을 使用하면 陰이온이 吸着될것이며, 萬一 適當한 表面活性劑를 물에 녹혀 이것을 bubbling하면 單分子膜이 形成되면서 일어나는 이온吸着은 모두 氣泡의 表面에서 일어나니까 一定容積의 容液의 水面을 無限하게 擴大한것과 같은 效果가 나타난다. 水面은 곧 氣泡로 덮여 이것들은 凝集되어 허물허물한 凝集體 (scum)로 될것이나, 前述한 Baylor et al. (1962), Sutcliffe et al. (1963)등의 實驗은 所謂 海中懸濁物중 生物의 遺骸를 除去한 大部分은 海洋에서 天然의 ion floatation에 의해서 생긴것이 아닌가 라고 解釋된다.

Sutcliffe et al. (1963)에 의하면 天然海面의 이러한 필름狀 物質은 實際로는 바다 表面에서 band slick를 形成하고 있는것이라고 하였다. 事實 Woods Hole 周邊海域에 나타나는 주름모양의 band slick에 對해서 windrow의 안쪽과 windrow의 사이에서는 1) PO₄이온 濃도가 前者에서 統計學的으로 有意하게 높고, 2) spreading pressure가 前者에서 한 單位가 더 높으며 (表面張力은 한 單位 더 낮은것을 뜻함), 3) windrow의 안쪽 또는 兩側에는 0.08~1.0°C 程度의 水温差가 있을뿐 아니라 2~5 cm/sec 程度의 下降流가 있어. 그 1m 直下에는 거의 恒常 海水의 濁도가 周圍보다 높다고 하였다.

이러한 根據에서 Sutcliffe 등은 海中의 氣泡의 表面에 吸着된 큰 表面活性을 지닌 有機分子의 單分子層은 그 面積이 커질 수록, 또는 氣泡의 表面積이 減少됨에 따라 서로 겹쳐져서 또는 破碎되어 膠質樣 物質로 되고 때로는 纖維樣 物質이

될 것이며, 이것들은 海水의 流動, 氣泡에 의한 攪亂과 衝突이 되풀이됨에 따라 消滅 또는 새로운 凝集이 이어나, 하나의 有機物的인 凝集體가 形成될 것이라고 하였다. 이렇게 풀이해보면 지금까지 알려진 界面化學的인 知識으로서도 充分히 榮養價가 많은 有機物的 凝集體가 생길수 있다는 것을 알수 있다.

여기에 參考로 海洋에서의 氣泡의 成因에 關해서 생각해 보자. 그 主要 生成原因은 碎浪이나 降雨, 降雪에 의한 微細한 氣泡生成도 無視할수 없다. Blanchard and Woodcock (1957)에 의하면 一片의 降雪은 直徑 1~200 μ 의 微細泡沫을 50~100個나 形成케 한다. 雨滴이 海面에 떨어져서 形成하는 氣泡의 數와 크기는 雨滴의 크기에 比例하며, 例로 直徑 2 mm의 雨滴 일때 直徑이 50 μ 보다 작은 氣泡을 50~100個나 形成한다고 한다. 이러한 氣泡가 생길때 海面의 微細攪亂에 의해 海面下 數 cm까지 내려가나 재미있는 事實은 30 μ 보다 작은 氣泡은 곧 작아져서 數分以內에 消滅되며, 50 μ 이상의 것은 反對로 氣泡가 커진다고 한다.

碎浪에 의한 氣泡生成은 量的으로 한층 많으며, 氣泡의 크기 100~1,000 μ 의 範圍에서 1~100個/ml 정도로 形成되는 것이라고 하며, 이것보다 微少한것 또는 巨大泡沫까지 合한다면 그 數는 한층 더 많아진다. Blanchard and Woodcock에 의하면 全海面의 10%가 常時 碎浪이 이어난다고 假定했을때 地球上의 全海面을 平均하면 碎浪에 의해서 생기는 氣泡의 數는 例로서 75 μ 의 크기의 氣泡라면 3個/cm²/sec 정도가 된다고 推定하고 있다. 크기가 30 μ 보다 작은 莫大한 量의 微細氣泡들은 大部分이 表面張力에 의해서 內胞하는 空氣를 放出하여 水面에 나타나기 以前에 消滅된다. 이 事實은 風浪에 의해 表層海水의 酸素의 過飽和狀態를 이루게 하는 重要한 根據가 될런지도 모르겠다.

結 語

이렇게 되고보면 바다의 微少懸濁物에 對한 우리의 常識的 概念에 새로운 展開面이 나타나게 되었다. 이것은 一大混亂이라고도 할수 있다. 全

海洋을 통해서 세스톤중의 살고있는 植物플랑크톤의 量은 不過 數%에 지나지 않으며, 懸濁物의 大部分을 차지하는 테트리타스는 또한 蛋白質이 豊富한 먹이의 價値를 지니고 있으며, 이러한 테트리타스는 生物體의 末期의 產物로서만 생기는것이 아니라, 바닷물에 溶存되어 있는 物質로서 純粹한 物理, 化學的 作用에 의해서 上向의으로도 形成 또는 合成된다는 事實에는 놀리지 아니할수 없다. Baylor and Sutcliffe (1963)는 實驗室內에서 人工的으로 bubbling에 의해서 形成한 organo-phosphate로서 *Artemia*를 홀름이 成長시켰었다. 이러한 事實들은 그 넓은 海洋에는 우리가 지금까지 想像했던것 보다 몇배나 더 많은 利用可能한 먹이가 있었다는 事實이다. 海洋全體의 生産力은 이러한것을 充分히 考慮하고 勘案한 結果에 의해서 再檢討하지 아니하면 안되는 事態에 이르렀다고 하겠다. 이러한 事態에 이르러면서도 海洋에 있어서의 全有機物 生産의 維持는 결국 바다의 生産層에서 이루어지는 一次生産에 根源한다는 古典的인 一般概念에는 아무런 變함은 없다.

參 考 文 獻

- Adam, N. K. 1937. A rapid method for determining the lowering of tension of exposed water surface with some observations on the surface tension of the sea and of inland waters. Proc. Royal Soc. London, Ser. B, 122, 134-139.
- Armstrong, E. A. J. and H. Harvey. 1950. The cycle of the phosphorus in the waters of the English Channel. J. Mar. Biol. Asson., U.K., 29, 145-162.
- Banse, K. 1956. Produktionbiologische Serienbestimmungen im südlichen Teil der Nordsee im März 1955. Kieler Meeresforsch., 12, 166-180.
- Banse, K. 1957. Ergebnisse eines hydrographisch-produktionsbiologischen Längsschnittes durch die Ostsee im Sommer 1956. II. Die Verteilung von Sauerstoff, Phosphat und suspendierter Substanz. Kieler Meeresforsch., 13, 186-201.
- Baylor, E. R., W. H. Sutcliffe and D. S. Hirschfeld. 1962. Adsorption of phosphates onto bubbles. Deep-Sea Res., 9, 120-124.

- Baylor, E. R. and W. H. Sutcliffe. 1963. Dissolved organic matter in seawater as a source of particulate food. *Limnol. and Oceanogr.*, 8, 369-371.
- Blanchard, D. C. and A. H. Woodcock. 1957. Bubble formation and modification in the sea and its meteorological significance. *Tellus*, 9, 145-158.
- Brandhorst, W. 1958. Thermocline topography, zooplankton standing crop and mechanisms of fertilization in the eastern tropical Pacific. *J. du Cons.*, 24, 16-31.
- Brock, V., M. S. Doty, R. W. Hiatt and T. Leavastu. 1963. Evaluation of the sea (Draft manuscript). Report No. 42, 4-1~89.
- Collier, A. 1958. Some biochemical aspects of red tides and related oceanographic problems. *Limnol. and Oceanogr.*, 3, 33-39.
- Conover, R. J. 1959. Regional and seasonal variation in the respiratory rate of marine Copepoda. *Limnol. and Oceanogr.*, 4, 259-268.
- Cushing, D. H. 1959. The seasonal variation in oceanic production as a problem in population dynamics. *J. du Cons.*, 24, 455-464.
- Doty, M. S. and L. R. A. Capurro. 1961. Productivity measurements in the world ocean. Part I & II, IGY Oceanography Report No. 4, 1-625.
- Gulland, J. A. 1968. The ocean reservoir. *Sci. J.*, (May) 81-86.
- Hagmeier, E. 1960. Untersuchungen über die Menge und die Zusammensetzung von Seston und plankton im Wasser-proben von Reisen in die Nordsee und nach Island. Dissertation, Kiel, 1-168.
- Hagmeier, E. 1961. Plankton-Aquivalente. *Kieler Meer-esforsch.*, 17, 32-47.
- Hagmeier, E. 1962. Das Seston und seine Komponenten. *Kieler Meeresforsch.*, 18, 189-201.
- Harris, E. 1959. The nitrogen cycle in Long Island Sound. *Bull. Bingham Oceanogr. Coll.*, 17, 31-65.
- Harvey, H. W., L. H. N. Cooper, M. V. Lebour and F. S. Russel. 1935. Plankton production and its control. *J. Mar. Biol. Asson. U.K.*, 22, 97-100.
- Harvey, H. W. 1950. On the production of living matter in the sea off Plymouth. *J. Mar. Biol. Asson. U.K.*, 29, 97-137.
- Heinrich, A. K. 1958. On the production of copepods in the Bering Sea. *Proc. Ninth Pacific Sci. Cong.*, 16, 233.
- Heinrich, A. K. 1962. The life histories of plankton animals and seasonal cycles of plankton communities in the oceans. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 27, 15-24.
- Jerlov, N. G. 1951. Optical measurement of particle distribution in the sea. *Tellus*, 3, 122-128.
- Jerlov, N. G. 1953. Particle distribution in the ocean. *Rep. Swedish Deep-Sea Exped.*, 3, 73-97.
- Jørgensen, C. B. 1962. The food of filter feeding organisms. *Rapp. Cons. Explor. Mer*, 153, 99-107.
- Joseph, J. 1953. Die Trübungsverhältnisse in der südwestlichen Nordsee während der "Gauss"-Fahrt im Februar/März 1952. *Ber. Dtsch. Komm. Meeresforsch.*, 13, 93-102.
- Joseph, J. 1955. Extinction measurements to indicate distribution and transport of watermasses. *Proc. Unesco Symposium Phys. Oceanogr.*, 1955, Tokyo, 59-75.
- Ketchum, B. H. 1962. The regeneration of nutrients. *Rapp. Cons. Explor. Mer*, 153, 142-147.
- Krey, J. 1953. Plankton und Seston untersuchungen in der südwestlichen Nordsee auf der Fahrt des "Gauss" in Februar-März 1951. *Ber. dtsch. Komm. Meeresforsch.*, 8, 136-153.
- Krey, J. 1954. Beziehung zwischen Phytoplankton, Temperature-Sprungschicht und Trübungsschirm in der Nordsee im August 1952. *Kieler Meeresforsch.*, 10, 3-18.
- Krey, J. 1956. Die Trophie küstennaher Meeresgebiets. *Kieler Meeresforsch.*, 12, 46-65.
- Krey, J. 1960. Der Detritus im Meere. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 26, 263-280.
- McAllister, C. D., T. R. Parsons and J. D. H. Strickland. 1960. Primary productivity and fertility at Station "P" in the North-East Pacific Ocean. *Limnol. and Oceanogr.*, 9, 179-186.
- Marshall, S. M. and A. P. Orr. 1955. The biology of a marine copepoda, *Calanus finmarchicus*. Oliver and Boyd, Edinburgh, 1-187.
- Marshall, S. M. and A. P. Orr. 1962. Food and feeding in copepods. *Rapp. Cons. Explor. Mer*, 152, 92-98.
- More, E. M. 1953. Sea foam. *Nature*, 171, 913.
- Nishizawa, S. 1966. Suspended material in the sea: From detritus to symbiotic microcosmos. *Infor. Bull. Plank. Japan*, 13, 1-33.

- Parsons, T. R. 1963. Suspended organic matter in sea water. In: Sears, M.(ed.), *Progress in Oceanography*, Vol. 1, Pergamon Press, New York, 203-239.
- Parsons, T. R. and J. D. H. Strickland. 1962. Oceanic detritus. *Science*, **136**, 313-314.
- Riley, G. A. and D. F. Bumpus. 1946. Phytoplankton-zooplankton relationships on George Bank. *J. Mar. Res.*, **6**, 33-47.
- Riley, G. A., H. Stommel and D. F. Bumpus. 1949. Quantitative ecology of the plankton of the western North Atlantic. *Bull. Bingham Oceanogr. Coll.*, **12**, 1-169.
- Riley, G. A. 1963. *Marine Biology 1: First International Interdisciplinary Conference on Marine Biology*, Princeton, New Jersey, 1961. AIBS., 1-286.
- Rodina, A. G. 1963. A fluorescence analysis of lake detritus. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, **149**, 433-437.
- Sebba, F. 1962. *Ion Floation*. Elsevier, New York, 1-154.
- Ryther, J. H. 1956. The measurement of primary production. *Limnol. and Oceanogr.*, **1**, 72-84.
- Steemann-Nielsen, E. 1952. The use of radioactive carbon (C^{14}) for measuring organic production in the sea. *J. du Cons.*, **18**, 117-140.
- Strickland, J. D. H. 1960. Measuring the production of marine phytoplankton. *Bull. Fish. Res.. Bd. Canada*, No. 122, 1-172.
- Sutcliffe, W. H. E. R. Baylor and D. W. Menzel. 1963. Sea surface chemistry and Langmuir circulation. *Deep-Sea Res.*, **10**, 233-245.
- Tsujita, T. 1953a. A preliminary study on naturally occurring suspended organic matter in water adjacent to Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **8**, 113-126.
- Tsujita, T. 1953b. Studies on naturally occurring suspended organic matter in waters adjacent to Japan. II. On an application of the suspended organic matter for the analysis of water masses. *Rec. Oceanogr. Works Japan*, N. S. **1**, 94-100.
- Tsujita, T. 1953c. Studies on naturally occurring suspended organic matter in waters adjacent to Japan. III. On a process of organization of planktonic organic matter as examined by the electron microscope. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **11**, 199-233.
- Tsujita, T. 1956. Studies on the explosive multiplication of plankton and its subsequent phenomena. *Rep. Saikai Reg. Fish. Res. Lab.* **10**, 1-26.
- Zenkewitch, L. A. 1947. Fauna and biological productivity of the seas. *Sovetskaja Nanka*, **1**, 1-588.