

潮溜りの生態学的研究¹⁾ I. 水理学的条件の日週期変動とその季節変化

大 羽 滋 (東京都立大学理学部生物学教室)

昭和 28 年 8 月 5 日 受領

潮間帯は生態学的にみれば生物の環境質としての海水と空気とが毎日 2 回規則正しく交替し、その結果として環境条件の変化がきわめて著しいことが一般的特徴である。ところが干潮時に潮間帯の岩の間や上に形づくられる潮溜り (tide pool) では、生物は常に海水中に生活している点で潮間帯としては特異な環境であるが、他方その水塊の小さいために干潮時における環境条件の変動は普通の海水中にくらべると著しく激しくて、この点ではむしろ潮間帯一般と共通しているという興味深い対象である (内海, 山路, 井狩 '50 b; Johnson & Skutch '28)。しかしながら潮溜りにおける環境条件についての具体的な観測資料としては断片的な報告が散見される程度できわめて不完全であり、我が国における潮溜りの生物及び環境条件についての系統だつた研究である内海, 山路, 井狩 ('50 a, b, c) の報告も、大きな潮溜りに限られていること、短時間の変動にふれていないこと等の点で潮溜りにおける環境条件の変動の激しさをうかがうには不十分である。世界各地にまたがり千差万別な潮溜りを対象としたこれまでの不完全な資料からは、潮溜りにおける環境条件の変動についての一般的概念を得ることは不可能であり、特定の潮溜りの環境条件を推定する手掛りも与えられない。

著者は潮溜りの生物及び生物群集についての生態学的研究を行うにあたって、まずはじめに海水の物理化学的条件が潮溜りという限られた水塊内でどの程度の変化を示すか即ち変動の範囲、時間的経過などを直接対象とする潮溜りについて特に海水との比較において明かにすると共に、更にできれば潮溜りの水理学的状態についての一般的概念を把握する手がかりとしたいと考えて調査をくわだて、環境条件の分析の第 1 段階としてまず水温、塩素量、溶在酸素量、pH について特に日週期的変動に重点をおいて測定を行つた。

この一聯の報告は著者が東大三崎臨海実験所在職中から引つづき行われてきた研究にもとづくもので、前所長岡田要教授、現所長富山一郎教授、故菊池健三教授をはじめとして同所所員の方々にはいつも深く御世話になつてきたことをここに改めて厚く感謝する次第である。

対象及び方法

日週期変動の調査対象に選ばれたのは実験所南岸の岩盤上に多数散在する小さな潮溜りの中の 3 個 (B-1, B-5, C-1) で毎日 2 回の干潮時に露出する。それぞれの詳細な形態的特徴は後の報告で一括してのべることにするが最大の C-1 でも容積 200 l にみたく²⁾ 且大形海藻類は殆ど生じていない。この様な潮溜りを選んだのは内海, 山路, 井狩 ('50 a, b, c) が研究したような大きな潮溜りが手近に存在しないことにもよるが、より根本的な理由は小さいもの程潮溜りとしての特異性が明瞭に現われ、又生物や環境がなるべく単純なものの方がいろいろな点で都合であると考えたためである。

溶在酸素量、pH、水温、塩素量の測定はすべて潮溜り中央部の表層水について行い、方法は海洋観測法 ('38) の常法に従つた³⁾、まず棒状寒暖計で水温を測定した後、表面から直接小形酸素瓶 (約 60 cc) 2 本に採水して 1 本を溶在酸素量測定にあて他を pH 及び塩素量の測定に用いた。測定はすべて採水後 12 時間以内に完了するように行われた。

- 1) 文部省科学研究助成補助金に負うところが多い。
- 2) B-1: 長さ 45 cm, 巾 40 cm, 深さ 16 cm, B-5: 長さ 300 cm, 巾 60 cm, 深さ 15 cm C-1: 長さ 140 cm, 巾 120 cm, 深さ 22 cm (以上いづれも最大値)。
- 3) 溶在酸素飽和度の計算は Fox の式によつた。

結 果

I. 夏季大潮時における日週期変動: これに関する多数の観測資料を全部ここに示すことは不可能であり又必要もないので, 代表的な例として1951年7月21日~22日に3個の潮溜り(B-1, B-5, C-1)

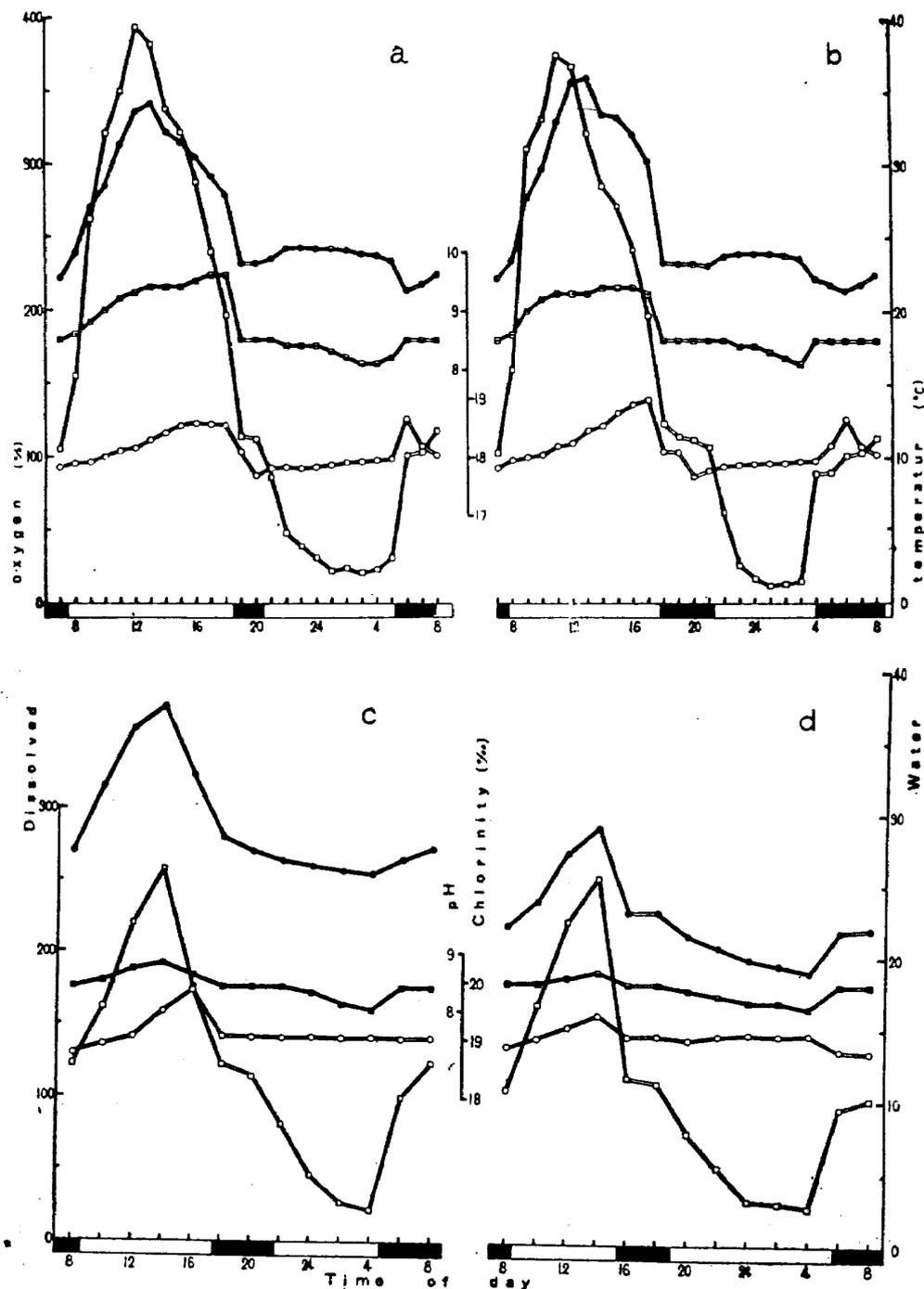


Fig. 1. Diurnal changes of some hydrological conditions (water temperature \odot , chlorinity \circ , dissolved oxygen \square and pH \square) in three small tide pools (a: Pool B-1, b: Pool B-5, c: Pool C-1) and coastal sea water (d) at spring tide in summer (21-22/VII '51). The periods during which the pool is submerged are blackened and the changes in these periods are shown by the line \square .

及び接岸表層水⁴⁾について 1 時間毎に測定した結果を第 1 図に示す。夏季大潮時には常にこれらの潮溜りは晝夜 2 回露出するがその結果として水理学的条件の変動は接岸表層水と著しく異つた様相を示す。以下それぞれについて簡単にのべると

a) 溶在酸素量——表層海水の溶在酸素飽和度は普通 100 % 前後で晝間やや高く夜間は多少低くなるのが常態でこの例における接岸表層水にも飽和度 130~90 % の範囲で日週期的変動が認められる。潮溜りではこの傾向が更に極端に迄押進められ、晝間干潮時には海から分離した直後から溶在酸素量は著しく増加して過飽和となり数時間後に極大に到達するがその後は急に減少して一般に午後のみち潮時までにはかなりの低下を示す。最も変化の激しい時には 5~7 cc/l/hr の増減も珍しくない。夜間干潮時には之と反対に分離直後から急激な低下をつづけて夜明け前に極小値を示し薄明の到来と共に増加しはじめる。このような変動の様式は基本的にはすべての潮溜りに共通であるが個々の点、例えば最大値、最小値、それに到達する時

Table 1. Ranges of diurnal changes in hydrological condition at spring tide in summer (Pool B-1, B-5, C-1 and coastal sea water).

	Pool	Maximum	Minimum	Maximum diurnal fluctuation
Dissolved oxygen cc/l (%)	B-1	16.70 (395)	0.94 (18)	16.64
	B-5	16.13 (376)	0.63 (12)	15.50
	C-1	12.18 (284)	0.60 (12)	11.31
	S. W.	7.18 (146)	3.90 (78)	2.82
pH	B-1	9.8	8.0	1.7
	B-5	9.8	8.0	1.8
	C-1	9.1	8.0	1.0
	S. W.	8.6	8.4	0.2
Water temperature °C	B-1	36.5	21.4*	12.6
	B-5	38.5	21.4*	13.6
	C-1	36.3	21.4*	11.6
	S. W.	28.2	21.4	4.2
Chlorinity ‰	B-1	19.54	15.87*	1.68
	B-5	19.96	15.87*	2.31
	C-1	19.07	15.87*	1.22
	S. W.	18.82	15.85	1.88

* These were obtained during the period in which the pools were submerged.

間等についてはそれぞれの潮溜りに個有な特徴が常に一定してみられる。この事情は以下にのべる pH, 水温, 塩素量についても同様なので、第 1 表に夏季大潮時に測定された最大値、最小値及び最大日較差を潮溜り毎に示しておく。

b) pH——pH の変動は溶在酸素量と密接に關聯するものでこの場合にも明らかにそれが認められる。晝間干潮時には溶在酸素量の激増に伴つて pH 値は最初は急速に後には緩慢に増大するが一旦到達した最大値は溶在酸素量の場合と異つて海水侵入時まで保たれている。夜間干潮時には第 1 図に明らかなように之

4) 岸から 30 cm, 深さ 10~20 cm の地点の表層水をとる。従つてその場所は時刻によつて異なる。

と全く反対の経過を辿る。晝夜いずれも変化範囲は溶在酸素量の変化範囲にほぼ比例し、変化速度は1時間に0.4以下にとどまる⁵⁾。接岸表層水にもきわめて僅かながら之に対応した日週期的変動がみられる。

c) 水温——変動の傾向は気温及び接岸表層海水の水温と大体同様であるが変化範囲はどの潮溜りにおいてもはるかに大きく12~15°Cに達し変化速度も最大3~4.5°C/hrを示す。最高水温は天候によつて左右されるが晴天の日には36~38°Cに達して海水の最高水温より8~10°Cも高くなり、且35°C以上の高温が数時間以上も続くのが普通の状態である (Fig. 2 及び 3 c 参照)。夜間干潮時には気温が海水温度より高ければ一旦僅かに上昇したのち漸減し (第1図) 逆の場合にははじめから低下をつづけるが (第3図 c), 夏には気温と海水温度との差が小さいので潮溜りの水温も夜間の変化範囲は著しく小さい。

d) 塩素量——晝間干潮時にはほぼ直線的に上昇をつづけて海水侵入直前に最大値を示す。夜間にはごく僅かの増加をみるか或は殆ど変化のないままである。このように変動は規則正しいが変化範囲は晝間干潮時でも2%程度、最大0.2~0.3%/hrの増加に過ぎず、かえつて接岸表層水の方が変化範囲の大きい不規則な変動を示す場合が多い (第1図 d)。

II. 小潮時の日週期変動: 小潮の日には潮間帯の比較的下部にある潮溜りは終日海面下に没して居り中部以上のものも露出時間は大潮時よりも短いのが普通で、水理学的条件の変動は前者では接岸表層水のそれと大差なく後者においても干潮が朝夕に起ることも関係して大潮時よりもずつと低度である。ところが日潮不等の現象の結果或場合には比較的上部の潮溜りは1日に1度しか海水の侵入を受けぬことがあり、このような日には水理学的条件の変動は露出時間の延長のために大潮の場合よりもむしろ激しくなっている。例と

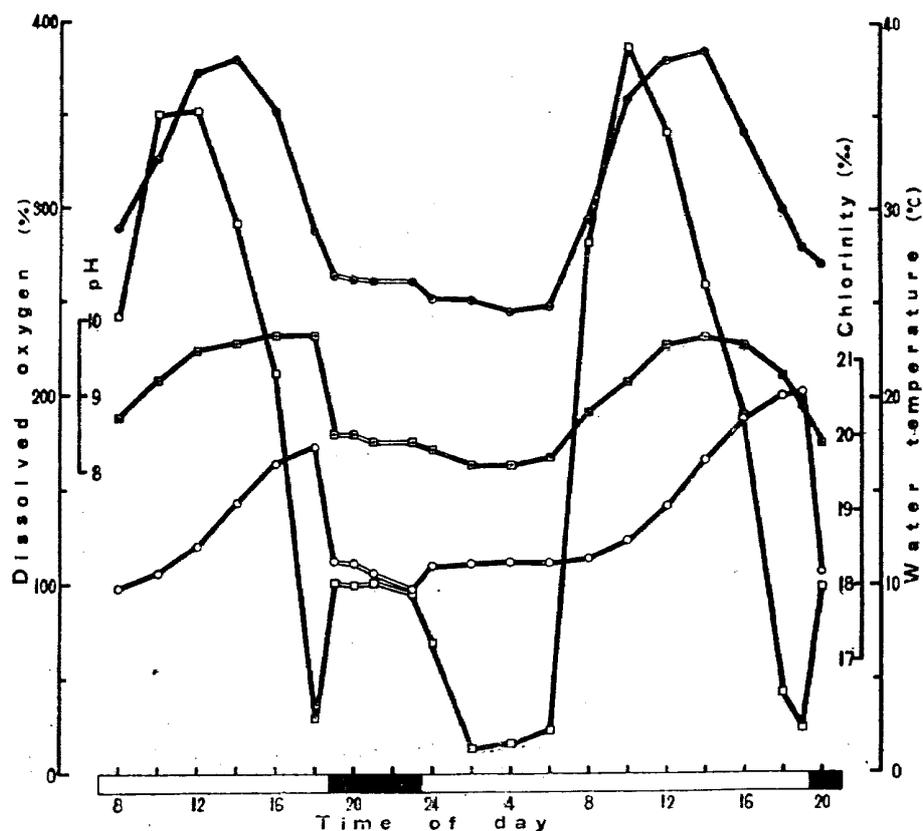


Fig. 2. Diurnal changes of hydrological conditions at neap tide in summer (Pool B-5, 26-27/VII '51).

- 5) みち潮海水の侵入時の変化ははるかに大きくこれは水温についても同様でそれぞれ1時間に1.0, 7°C位の低下を示す。

して 1951 年 7 月 26~27 日の観測結果 (潮溜り B-5) を第 2 図に示す。同じ潮溜りの大潮の場合 (第 1 図 b) にくらべると溶在酸素量が日没前後に急激に減少する結果変動曲線は 2 峰型となつて居り、又塩素量の増加にも露出時間に比例して大きいのが目につく。

III. 日週期変動の季節変化: 潮溜りにおける水理学的条件を左右する要因は気象, 生物, 地形に大別して考えられるが, その中で前 2 者は季節によつて変化するものである以上今までのにのべた水理学的条件の日週期変動には当然季節変化が認められる。1948 年に年 4 回 (冬 1 月 27~28 日; 春 4 月 24~25 日; 夏 8 月 8~9 日; 秋 10 月 21~22 日) 大潮時に晴天の日を選んで 2 個の潮溜り (B-5, C-1) について測定した結果の中で C-1 の分を第 3 図に示す⁶⁾。前述の日週期変動の様式は基本的には周年不変であるが変化範囲には一般に著しい季節的差異がみられる。即ち溶在酸素量についてみれば冬には殆ど接岸表層水と差がないが, 春になると日較差は大きく変動はかなり明かになるが変化の速さはまだ緩慢で最大, 最小値に到達するまでの時間も長い。夏と秋とは殆ど同じで日較差はきわめて大きく変化も急激である。pH の変動もほ

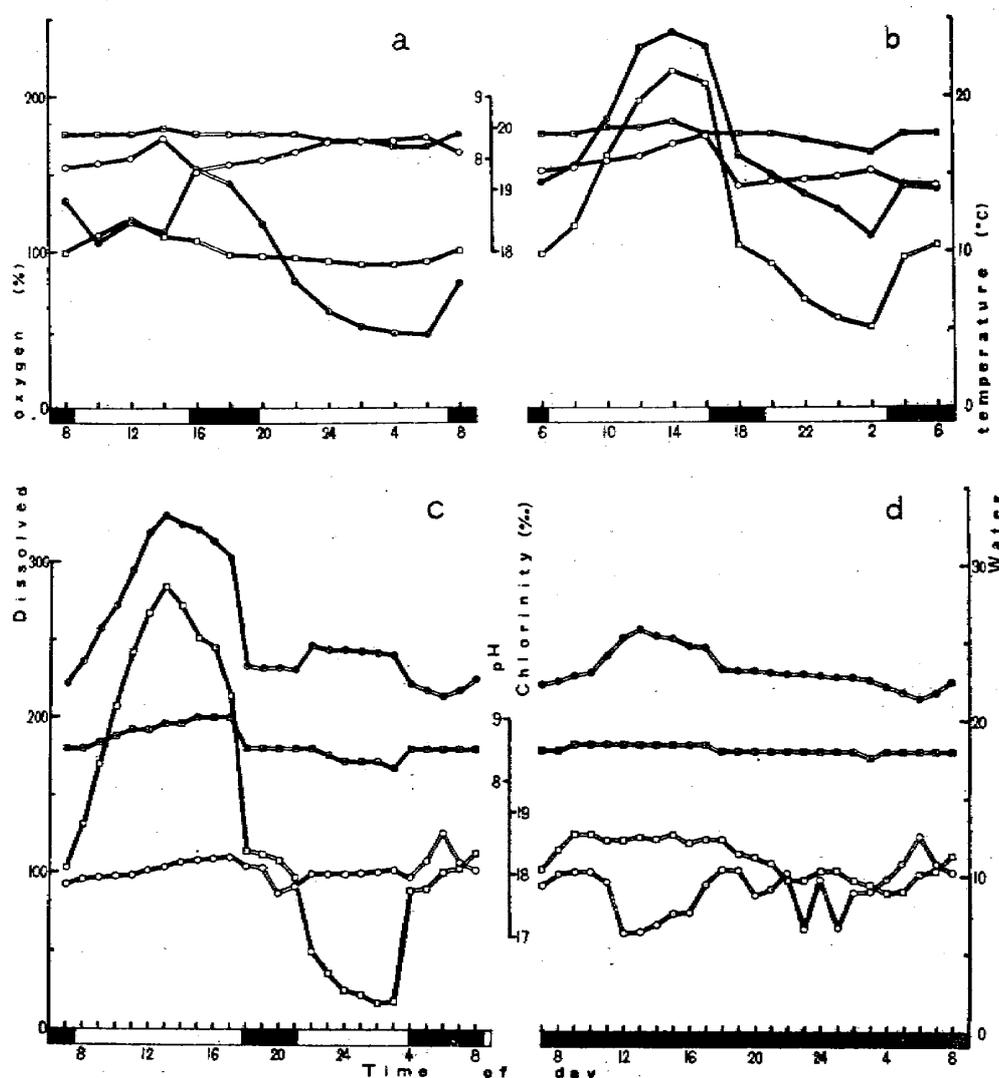


Fig. 3. Seasonal variation of diurnal changes of hydrological conditions at spring tide (Pool C-1). a: 27-28/I '48, b: 24-25/IV '48, c: 8-9/VIII '48, d: 21-22/X '48.

6) B-5 についても結果は同じである。

ば之に比例して冬季に最も小さい。塩素量も周年大差ないが夏にやゝ大きい。水温については海水温度と気温との関係が季節によつて非常に異なる結果として著しい季節変化が認められる。即ち冬には低気温のため夜2回の干潮時にはいずれも海水温度より著しく低下し、特に夜間には露出時間の長いことも加つて 5°C 以下の低温が数時間にわたつてつづく、春と秋には晝間干潮時には海水よりもかなり高くなるが夜間には気温<海水温度のために海水よりもかなり低くなる。夏には既にのべたように海水よりも著しく高温になり $36\sim 38^{\circ}\text{C}$ にも達するが夜間には海水温度にくらべて低い場合(第3図c)にも高い場合(第1図c)にもその差は著しくない。水温の場合は前3者と異つて、日較差は周年大差なくC-1では $10\sim 13^{\circ}\text{C}$ の範囲内にとどまる。

IV. 天候の影響: 潮溜りの水理学的条件はその日の天候によつて大きく左右される。しかしその関係を明かにするのはきわめて困難であり大体のことしか判らないが、多数の観測資料を通じてみると次のことが言える。即ち天候が曇りの程度ではすべての水理学的変動は晴天の日とほとんど変わらない。曇りの程度がすゝむと共に水温、塩素量には影響が現われるが溶在酸素量は小雨程度でもほとんど影響をうけない。降雨が激しければいずれもかなり低下し特に塩素量は 1.5% 以下になつた例(1948年8月2日, C-1)もあるが之は後の報告⁷⁾でのべるように表層のみに限られた変化にすぎない。風の強い日には晴天でも水温は低く溶在酸素量も著しく少く、無風であれば 300% 以上に達すると思われる場合にもその $1/2$ 程度にとどまるが之は強風によつて浅い潮溜りの水が攪乱され過飽和状態が保たれ難いためであらう。

論 議

ここに明かにされた潮溜りの水理学的条件の日週期変動は沿岸海水或は湖沼、河川、濠などの淡水水域(森 '36, 宝月 '49, 花岡 '47, 倉茂 '31, '32)のそれと大局的には同じであるがそれらのいずれよりも極端に変化の強調された様相を示して居り、日較差、最大値などもはるかに大きい。海水水域のみについてみた場合水理学的変動の激しさには、外洋<沿岸水<海と連絡している潮溜り<大きな潮溜り<小さな潮溜りという系列が考えられ、例えば夏季最高水温についてみても沿岸水<大きな潮溜り(内海, 山路, 井狩 '50b)<小さな潮溜りと水塊の大きさによつて明かに差が認められる。このように小さい潮溜りにおける水理学的条件は海棲生物に対して考えられる最も苛酷なものであり、淡水域を通じてみてもきわめてきびしい条件と考えられる。

潮溜りの水理学的条件について生物への影響が大きく制限要因となりうる点を考えてみると、まず水温については夏季晝間の高温と冬季夜間の低温があげられる。前者では 35°C 以上の水温が数時間つづいて最高は 38°C 以上に達し、後者では $4\sim 5^{\circ}\text{C}$ の低温が数時間つづく。このようなことは潮間帯に露出して直接大気や直射日光にさらされる生物には珍しくはないが、海水中に生活するものにとつては異例の条件であり、これに順応できる生物のみが潮溜りに棲息し得るわけで、これに耐えられないもの例えば一時的にまぎれこんできた外海性の動物などは斃死せざるを得ない場合も生ずる(Ohba '52)。

塩素量については干潮時における増加は Klugh ('24)も指摘したように沿岸水の変動範囲内にあり、又降雨による低下も表層では著しいが底層では大きな変化はなく、いずれも生物に大きな影響を及ぼすとは考えられない⁸⁾。

溶在酸素量については夏季夜間の著しい減少が問題である。 $0.6\sim 0.8\text{ cc/l}$ 程度の状態が長時間つづく結果動物によつてはかなりの悪影響をうける可能性が考えられる。pHのこの程度の変動($9.8\sim 8.0$)が生活現象にどの程度の影響を及ぼすかは明かでない。

7) 動雑, 62巻11号印刷予定。

8) 平均満潮線以上にあつて毎日海水の侵入をみるとは限らない潮溜りでは塩素量の変動の意義は勿論もつと大きい。

摘 要

夏季大潮時には潮溜りの水理学的条件は晝夜 2 回の干潮時に著しく変動する。溶在酸素量は晝間は最高 300~400 % (12~18 cc/l) の過飽和状態になり夜間は 10~20 % (1 cc/l 以下) の低い値を示す。pH も之に応じて最高 9.8~9.0, 最低 8.2~8.0 の間を変化する。塩素量は晝間干潮時に直線的に増大するがその範囲は一般に 2 % をこえない。水温は夜間は海水と大差なく一般に 23~25°C 位であるが晝間最高値は 36~38°C に達する。これらの数値は潮溜りにより又その日の天候によつてかなり変化する。接岸表層海水でのこれらの水理学的条件の日週期変動はごく狭い範囲にとどまる。

小潮時には一般に変動はこれよりも小さいが、1 日 1 回しか海入の浸入をみない場合には露出時間の延長に伴つてむしろ大潮時よりも激しい変化を示す。

日週期の変動の季節変化は水温と溶在酸素量で最も著しい。水温の日較差は 10~15°C で周年大差ないが、夏の最高は 40°C に近く冬の最低は 4°C 前後を示す。溶在酸素量の変動は夏が最大で秋、春、冬の順に小さく、冬には接岸表層水と大差ない。pH 及び塩素量の日較差も夏に大きく冬に小さい。

潮溜りの生物に対する制限要因として考えられるのは夏季晝間の高温、冬季夜間の低温及び夏季夜間の溶在酸素量の減少などで、塩素量の変化は毎日海水の浸入する潮溜りでは大きな影響をもつとは考えられない。

文 献

花岡資, '47, 水産学会誌 13, 實月欣二, '49, 植物学雑誌, 61. Johnson, D. S. & A. F. Skutch, 28, Ecol., 9. 海洋气象台, '38, 海洋観測法, Klugh, A. B. '24, Ecol. 5. 倉茂英次郎, 31, 気象学誌 9. —, '32, 気象学誌, 10. 森圭一, 36, 陸水雑., 6. Ohba, S., '52, Annot. Zool. Japon., 25. 内海富士夫, 山路勇, 井狩美保, '50 a, b, c, 京大生理生態業績 66, 67, 68

Résumé

Ecological Studies on Tide Pools I. Diurnal Changes and Their Seasonal Variations in Hydrological Conditions

Shigeru OHBA

Department of Biology, Tokyo Metropolitan University

Some hydrological conditions (water temperature, dissolved oxygen and pH) of tide pools were studied especially on their diurnal changes. Observations throughout the day were made on three small pools as well as coastal sea water near Misaki Marine Biological Station, mainly at spring tide.

At spring tide in summer, diurnal changes of hydrological conditions are very extensive. Water temperature reaches 36-38°C in the daytime, though it remains 23-25°C at night. Chlorinity increases linearly during the ebb but the increase is within 2% in most cases. The maximum of dissolved oxygen in the daytime is 12-17 cc/l (300-400%) and minimum is 0.6-1.0 cc/l (10-20%) at night. Diurnal change of pH is between 9.8 and 8.0. In coastal sea water these changes are much smaller.

At neap tide, the diurnal changes are generally sligther than at spring tide. However, in tide pools in higher zone the hydrological conditions can change considerably during some period

when they are submerged only once a day.

Although these diurnal changes remain more or less throughout the year, they vary in details by seasons. Generally speaking, the range of diurnal changes is the largest in summer, next in spring and autumn, and the smallest in winter, as regards chlorinity, dissolved oxygen and pH. Water temperature fluctuates extensively season by season (maximum about 40°C in summer, minimum below 5°C in winter) but the extent of diurnal change is 10-15°C at any season.

Considering the above data, animals and plants in tide pools can be said to be exposed to severe environmental conditions. In regard to the hydrological changes mentioned above, the following may be considered as the limiting factor on the lives in tide pools: high temperature (nearly 40°C) in the daytime of summer, low temperature (below 5°C) at night of winter and reduction of dissolved oxygen in summer night.

會 記

新 入 會 員

三宅章雄	大阪市北区南扇町大阪市立大理工学部大沢研究室
吉川公雄	" "
小浜次雄	品川区平塚六丁目 昭和医科大学生理学教室
城間和子	浦和市高砂町 5の45 赤沢方
中西宥	札幌市北海道大学理学部動物学教室
安羅岡一男	港区芝白金町予防衛生研究所寄生虫部
八木沢健夫	大阪市東住吉区鷹合町 173
山田耕司	広島市東千田町広島大学理学部動物学教室
蟋谷米司	" "
鳥畑芳夫	松江市母衣町松江市立母衣小学校
立石新吉	佐世保市崎巴町長崎大学水産学部
中沢悦三	水戸市外渡里村茨城大学文理学部
竹重順夫	久留米市旭町久留米大学医学部解剖学教室
玉野井逸朗	福岡市箱崎九州大学理学部生物学教室
佐無田 靖	" "
柳沢富雄	静岡市大岩静岡大学文理学部生物学教室
水野丈夫	文京区東京大学理学部動物学教室
丹羽孝	目黒区駒場東京大学教養学部生物学教室
小林喜雄	函館市北海道大学水産学部
最上又平	" "
石野田辰夫	宮崎県本庄局区内本庄高等学校

死 去

北上四郎 熊本市大江町渡鹿熊本女子大学

住 所 変 更

平 俊 文 三島市谷田国立遺伝学研究所
 玉重三男 札幌市北海道大学理学部動物学教室
 鈴木 実 浦和市本太 2194