



Title	ウニ綱5種の脂肪酸, とくに 5脂肪酸についての研究
Author(s)	高木, 徹; 金庭, 正樹; 板橋, 豊
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 33(4), 263-269
Issue Date	1982-11
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/23807
Type	bulletin (article)
File Information	33(4)_P263-269.pdf



[Instructions for use](#)

ウニ綱5種の脂肪酸, とくに 45 脂肪酸についての研究

高木 徹*・金庭 正樹*・板橋 豊*

Fatty Acids of Five Species of Echinoidea,
Specifically 5-Olefinic Acids

Toru TAKAGI*, Masaki KANENIWA* and Yutaka ITABASHI*

Abstract

Fatty acids of the total lipids from five species of Echinoidea, *Hemicentrotus pulcherrimus*, *Anthocidaris crassispina*, *Pseudocentrotus depressus*, *Planilampas sternopetala* (sea urchins), and *Clypeaster japonicus* (sea dollars), collected in subtidal water off the shore of Miura Peninsula and from the deep sea in Sagami Bay, were analyzed by glass capillary-gas chromatography of the methyl esters. The samples all contained noticeable amounts of 5-olefinic acids, 5-14:1, 5-16:1, 5-18:1, 5-20:1, 5, 11-20:2 and 5,13-20:2 as peculiar components. These 5-olefinic fatty acids have been found in small amounts in the seaweeds that are part of the diet of the sea urchin. Therefore, the 5-olefinic acids are probably synthesized biologically in sea urchins by 5-desaturation of C₁₄-C₂₀ acyl moieties. Most of the fatty acids common in marine lipids were found in all samples, with significant amounts of arachidonic acid, but 22:6 was found only in small or relatively small amounts. The variations in fatty acid composition depending on diet and environment are discussed.

緒 言

カナダ大西洋岸産のホクヨウオオバフンウニ (*Strongylocentrotus droebachiensis* 拱歯目オオバフンウニ科) の脂肪酸組成の研究では, ガスクロマトグラフィー (GLC) 分析により炭素鎖の 5, 6 の位置に二重結合をもつ 45 脂肪酸が特徴的な脂肪酸成分で, 試料によっては全脂質の脂肪酸中の 45 脂肪酸は 20% を超すことが認められている¹⁾。これらの 45 脂肪酸は主に *cis*-5- エイコセン酸, *cis*-5, *cis*-11- エイコサジエン酸, *cis*-5, *cis*-13- エイコサジエン酸 (以下それぞれ 20:1 45, 20:2 (45, 11) 20:2 (45, 13) と略記する) の 3 種で, このうちエイコサジエン酸は, non-methylene-interrupted (NMI) 構造を持つ。このエイコサジエン酸の炭素鎖が 2 個延伸した 2 つのドコサジエン酸 22:2 (47, 13), 22:2 (47, 15) の存在も確認された。これらの 45 脂肪酸はさきに海産動植物油脂肪酸のガラスキャピラリーガスクロマトグラフィー分析の中で, 函館市近郊産のエゾバフンウニ (*Strongylocentrotus intermedius* 拱歯目オオバフンウニ科) の脂質中にも報告されている²⁾。これまでウニの脂質中に 45 脂肪酸が存在することは, 上記拱歯目オオバフンウニ科の 2 種についてのみしか知られていないので, 本研究では同じ拱歯目オオバフンウニ科のバフンウニ (*Hemicentrotus pulcherrimus*), ナガウニ科のムラサキウニ (*Anthocidaris crassispina*), ラップウニ科のアカウニ (*Pseudocentrotus depressus*),

* 北海道大学水産学部魚油化学講座
(Laboratory of Marine Lipid Chemistry, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

饅頭目マンジュウウニ科のマンジュウウニ (*Planilampas sternopetala*), タコノマクラ目タコノマクラ科のタコノマクラ (*Clypeaster japonicus*) の5種類の試料を用いてウニ綱の他の動物も45脂肪酸を含有するかどうか検討した。これらの試料の脂質の脂肪酸組成と過去の研究において分析された魚類, 動物プランクトン, 海藻などの脂質の脂肪酸組成²⁾⁻⁶⁾を比較した結果, 45脂肪酸がウニ綱の動物に特徴的な脂肪酸として確認された。またウニの間でも多少の脂肪酸組成の違いが観察されたので, その相違点について考察を行った。脂肪酸中のアラキドン酸 (20:4 ω 6) を同定するために豚肝臓, オゴノリの脂質の脂肪酸も分析した。

試料および実験方法

試料 実験に用いたウニ綱の動物の得られた時期, 場所, 大きさ, 体重, 内臓重量, 得られた脂質の重量, 含率を Table 1 に示す。

脂質の抽出 試料はすべてメタノールに浸漬されていたため, まず固体部分と溶液部分に濾別した。固体部分は内臓から Bligh and Dyer 法¹⁰⁾により脂質を抽出した。溶液部分に含まれる脂質は, メタノールを減圧下で留去したのち, クロロホルムを加え脂質をクロロホルム層に移し, 内臓よりのクロロホルム層と合わせて全脂質を得た。本研究で用いた試料はすべてメタノールに浸漬されていたので組織別の脂肪酸組成の分析は行えなかった。

脂肪酸メチルエステルの調製 ガラス管に抽出脂質約 50 mg をとり, 7%BF₃メタノール溶液 3 ml を加え, 密栓し 100°C で 20 分間加熱し遊離脂肪酸をメチルエステル化した後, 水を加え n-ヘキサンで抽出した。次に 0.5N ナトリウムメトキシドメタノール溶液 3 ml 加え同様にして 60°C で 20 分間加熱してトリアシルグリセロール脂質中の脂肪酸をメチルエステル化し n-ヘキサンで抽出した。

Table 1. Samples of Echinoidea⁷⁾⁻⁹⁾

Species	<i>H. pulcherrimus</i>	<i>A. crassispina</i>	<i>P. depressus</i>	<i>P. sternopetala</i>	<i>C. japonicus</i>
Time	July 1980.	July 1980.	August 1980.	August 1980.	August 1980.
Place	Kanagawa Prefecture	Kanagawa Prefecture	Kanagawa Prefecture	Sagami Bay	Miura Peninsula
Diameter of the shell (cm)	A 3.2 B 2.4	4.8	7.0	A 13.0 B 11.0	9.2
Height of the shell (cm)	A 1.6 B 1.2	2.8	2.8	A 6.5 B 5.2	2.9
Total weight (g)	A 9.4 B 4.9	33.1	94.0	A 144.6 B 72.1	72.6
Weight of the intestines (g)	A+B 4.0	3.7	27.5	A+B 66.6	1.0
Weight of the extracted lipid (g)	A+B 0.146	0.193	1.443	A+B 0.689	0.064
Content of the lipid (wt%)	3.66	5.22	5.25	1.04	6.40

得られたメチルエステルは、薄層クロマトグラフィー（展開溶媒；n-ヘキサン・エーテル=85:15(v/v)）により精製した。

脂肪酸分析 各試料の脂肪酸メチルエステルは、n-ヘキサンで希釈し、ガスクロマトグラフィー（GLC）により分析した。GLC分析はGLC装置：島津製GC-7A（水素炎イオン検出器）、カラム：ガラスキャピラリーカラム、0.30mmφ×50m、SP-2300を用いて、カラム温度：175°C、キャリアガス：水素の条件で行った。各ピークの保持時間及びピーク面積はクロマトパックC-R1A（島津）を用いて測定した。各ピーク成分は以前に分析された試料との比較²⁾、相対保持時間の比較、同族体炭素数と保持時間の直線関係の利用などにより推定した。豚肝臓及びオゴノリの脂質も同様の方法で抽出し、その脂肪酸を分析してアラキドン酸などの同定に用いた。ムラサキウニの脂肪酸メチルエステルのガスクロマトグラムを（Fig. 1）に示す。

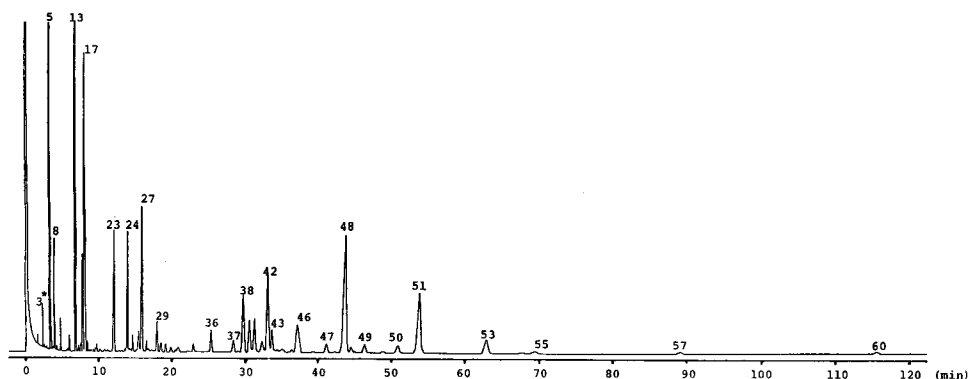


Fig. 1. Gas chromatogram of methyl esters of fatty acids of the lipid from *A. crassispina*.

* See Table 3.

結果および考察

脂肪酸組成 各試料の脂質の脂肪酸組成を Table 2 に、また各脂肪酸の GLC 分析における相対保持時間 (RRT)、および ECL 値を Table 3 に示す。Table 2 よりわかるようにウニ綱の動物の脂質には非常に多くの種類の脂肪酸が含まれている。各脂質に共通の主成分となる脂肪酸は、ミリスチン酸 (14:0) 8~16%、パルミチン酸 (16:0) 10~15%、アラキドン酸約 10%、エイコサペンタエン酸 (20:5 ω3) 5~10% などがあげられる。また豚肝臓、オゴノリにはアラキドン酸がそれぞれ約 11%、約 25% づつ含まれていた。

45 脂肪酸 さきにウニの脂質に特徴的な脂肪酸として報告された 45 脂肪酸は、本研究では、モノエン酸としては、14:1 45, 16:1 45, 18:1 45, 20:1 45, NMI ジエン酸では 20:2(45, 11), 20:2(45, 13) の存在が認められた。これらの 45 脂肪酸の総含有量は、バフンウニ 10.58%、ムラサキウニ 10.80%、アカウニ 11.96%、マンジュウウニ 12.50%、タコノマクラ 9.45% であった。そして特に炭素 20 のものの含有量が多く、GLC 分析においてどのウニ綱の動物の試料でも C₂₀ 区分は類似したピークパターンを示した (Fig. 2)。C₂₀45 脂肪酸はこれまでに他の種類のウニにも報告されており¹⁾ ²⁾、また軟体動物にも極めて少量存在する場合のあることが報告されているが¹¹⁾⁻¹³⁾、魚類、動物プランクトン、海産植物などにはほとんど存在しなかった²⁾⁻⁶⁾。ウニ綱の動物のえさは主にコンブ、ワカメなどの海藻であり⁷⁾⁸⁾、これらの海藻には一部のを除いて⁴⁾⁵⁾ 45 脂肪酸がほとんど存在しないこ

Table 2. Fatty acid composition of the lipids from Echinoidea and other samples

Fatty acid	Composition (wt%)* **						Pig liver
	Echinoidea					Alga	
	<i>H. pulcherrimus</i>	<i>A. crassispina</i>	<i>P. depressus</i>	<i>P. sternopetala</i>	<i>C. japonicus</i>	<i>G. verrucosa</i>	
12:0	—	0.07	0.03	0.08	0.02	0.10	—
iso-13:0	—	—	—	0.10	0.03	—	—
13:0	0.36	0.30	0.26	1.41	4.81	0.02	0.02
iso-14:0	0.01	0.03	0.03	0.23	0.10	0.06	—
14:0	8.08	14.78	13.71	3.47	2.41	2.85	0.04
14:1Δ(5)*	0.07	0.12	0.14	0.05	0.16	0.08	—
14:1(n-7)**	0.04	0.05	0.02	0.08	0.40	0.18	—
14:1(n-5)	0.62	1.11	0.71	1.39	2.10	0.38	—
iso-15:0	0.01	0.02	—	—	0.26	—	—
anteiso-15:0	0.09	0.07	—	0.71	0.60	0.05	—
15:0	0.43	0.37	0.26	1.01	1.70	0.26	0.16
iso-16:0	0.35	0.27	0.20	0.68	0.38	0.78	0.38
16:0	15.68	16.00	23.28	9.60	16.38	23.50	19.28
16:1(Δ5)	0.35	0.19	0.13	0.72	2.22	0.14	—
16:1(n-9)	0.25	0.19	—	0.87	—	0.17	0.39
16:1(n-7)	2.26	1.57	1.72	3.98	3.14	1.68	0.79
16:1(n-5)	1.34	4.89	2.01	1.75	1.09	0.47	—
iso-17:0	0.20	0.24	—	0.52	0.32	—	—
anteiso-17:0	0.09	0.03	—	0.43	0.56	—	—
17:0	0.30	0.26	—	1.06	1.72	0.16	0.99
17:1(n-8)	0.08	—	—	0.16	0.18	—	—
iso-18:0	0.25	0.13	0.09	0.06	0.15	—	—
16:4(n-3)	2.18	3.59	1.65	0.98	1.14	—	0.48
18:0	3.02	3.48	3.50	3.97	8.88	0.61	22.79
18:1(Δ5)	0.56	0.49	0.83	1.59	0.72	—	—
18:1(n-9)	1.95	0.63	2.40	2.30	5.43	6.43	12.98
18:1(n-7)	3.42	4.32	2.48	4.82	4.06	1.18	1.66
18:1(n-5)	0.12	0.35	0.16	0.44	0.14	—	—
18:2(n-9)	0.56	1.04	0.76	0.22	—	0.12	—
18:2(n-6)	0.79	0.36	0.57	0.89	1.03	1.58	15.68
18:3(n-9)	0.17	0.37	0.13	0.19	0.12	0.10	—
19:0	0.22	—	—	0.79	0.53	0.09	0.05
19:1(n-8)	0.26	—	—	0.03	0.06	—	—
18:3(n-6)	0.27	0.15	0.11	1.22	0.67	1.23	0.10
18:3(n-3)	1.83	0.33	0.95	0.07	0.17	0.16	0.36
18:4(n-3)	4.02	1.06	3.22	0.23	0.33	—	—
20:0	0.75	0.83	1.77	0.67	1.16	—	0.20
20:1(Δ5)	3.69	3.65	4.31	6.09	3.92	—	—
20:1(Δ9)	0.92	2.08	0.76	0.58	1.39	—	—
20:1(Δ11)	2.87	2.11	4.74	0.46	1.40	0.09	—
20:1(Δ13)	0.78	0.81	0.63	0.35	0.75	—	—
20:2(Δ5, 11)	4.41	5.04	5.16	2.76	1.88	—	—
20:2(Δ5, 13)	1.50	1.31	1.39	1.29	0.55	—	—
20:2(n-9)	0.15	0.32	1.09	0.52	0.15	—	—
20:3(n-9)	0.05	0.19	—	—	0.15	—	—
20:2(n-6)	1.40	2.60	1.72	0.84	0.35	—	0.48
20:3(n-6)	0.99	0.77	0.97	0.17	0.78	2.17	0.68
20:4(n-6)	10.39	10.27	8.09	13.44	2.75	24.84	11.25
20:3(n-3)	1.93	0.77	0.77	0.14	0.22	—	—
20:4(n-3)	1.88	0.78	1.45	—	0.10	—	—

Table 2. (Continued)

Fatty acid	Composition (wt%)*						Pig liver
	Echinoidea					Alga	
	<i>H. pulcherrimus</i>	<i>A. crassispina</i>	<i>P. depressus</i>	<i>P. sternopetala</i>	<i>C. japonicus</i>	<i>G. verrucosa</i>	
20:5 (n-3)	9.53	6.06	5.19	9.17	1.99	28.75	1.85
22:0	0.13	—	—	1.10	0.40	—	—
22:1 (n-11)	1.71	1.82	1.52	0.27	1.89	—	—
22:2 (Δ7, 13)	0.13	—	—	—	0.39	—	—
22:2 (Δ7, 15)	0.68	0.24	0.43	0.88	0.18	—	—
21:5 (n-3)	0.13	—	—	—	—	—	—
22:4 (n-6)	0.49	0.39	—	0.52	1.50	—	0.44
22:5 (n-6)	0.28	—	—	0.95	0.31	—	—
22:5 (n-3)	0.25	—	—	0.49	0.22	0.42	2.63
22:6 (n-3)	1.15	0.62	—	3.16	1.70	—	5.35

* Δn gives the position of the ethylenic bond closest to the carboxyl group.

** n-n gives the position of the ethylenic bond closest to the terminal methyl group.

*** Each sample contains small amounts of unknown components.

Table 3. RRT and ECL of each fatty acid.

Peak no.	Fatty acid	RRT	ECL	Peak no.	Fatty acid	RRT	ECL
1	12:0	0.118	12.00	31	18:3 (n-9)	1.385	18.87
2	iso-13:0	0.143	12.55	32	19:0	1.416	19.00
3	13:0	0.163	13.00	33	19:1 (n-8)	1.454	19.06
4	iso-14:0	0.203	13.56	34	18:3 (n-6)	1.485	19.12
5	14:0	0.237	14.00	35	18:3 (n-3)	1.636	19.39
6	14:1Δ5	0.252	14.17	36	18:4 (n-3)	1.818	19.69
7	14:1 (n-7)	0.266	14.31	37	20:0	2.028	20.00
8	14:1 (n-5)	0.279	14.44	38	20:1Δ5	2.142	20.15
9	iso-15:0	0.292	14.56	39	20:1 (Δ9)	2.189	20.21
10	anteiso-15:0	0.300	14.64	40	20:1Δ11	2.253	20.29
11	15:0	0.336	15.00	41	20:1Δ13	2.312	20.36
12	iso-16:0	0.421	15.55	42	20:2 (Δ5, 11)	2.386	20.44
13	16:0	0.497	16.00	43	20:2 (Δ5, 13)	2.420	20.48
14	16:1Δ5	0.531	16.19	44	20:2 (n-9)	2.498	20.57
15	16:1 (n-9)	0.537	16.22	45	20:3 (n-9)	2.602	20.68
16	16:1 (n-7)	0.557	16.33	46	20:3 (n-6)	2.675	20.75
17	16:1 (n-5)	0.577	16.43	47	20:3 (n-6)	2.920	20.99
18	iso-17:0	0.602	16.55	48	20:4 (n-6)	3.152	21.20
19	anteiso-17:0	0.618	16.62	49	20:3 (n-3)	3.321	21.34
20	17:0	0.691	17.00	50	20:4 (n-3)	3.640	21.59
21	17:1 (n-8)	0.721	17.06	51	20:5 (n-3)	3.888	21.77
22	iso-18:0	0.845	17.52	52	22:0	4.235	22.00
23	16:4 (n-3)	0.866	17.59	53	22:1 (n-11)	4.507	22.19
24	18:0	1.000	18.00	54	22:2 (Δ7, 13)	4.817	22.37
25	18:1Δ5	1.044	18.12	55	22:2 (Δ7, 15)	4.933	22.44
26	18:1 (n-9)	1.106	18.28	56	21:5 (n-3)	5.437	22.70
27	18:1 (n-7)	1.142	18.38	57	22:4 (n-6)	6.334	23.13
28	18:1 (n-5)	1.178	18.46	58	22:5 (n-6)	6.654	23.27
29	18:2 (n-9)	1.279	18.70	59	22:5 (n-3)	7.802	23.71
30	18:2 (n-6)	1.316	18.78	60	22:6 (n-3)	8.227	23.86

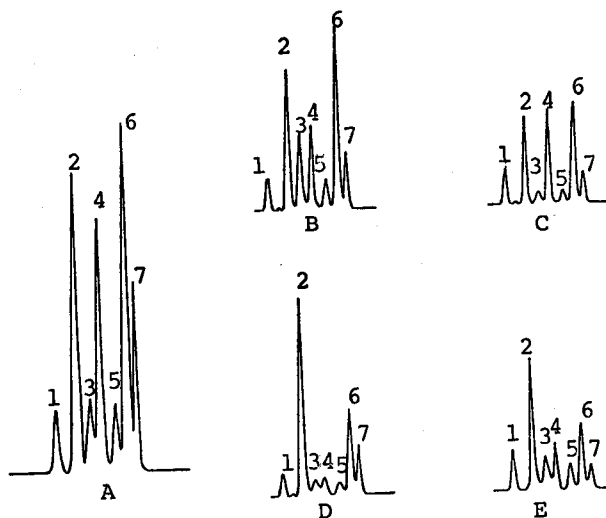


Fig 2. Parts of gas chromatogram of methyl esters of fatty acids of the lipids from Echinoidea. 20:0-20:2 (45, 13) region.
 A; *H. pulcherrimus* B; *A. crassispina* C; *P. depressus* D; *P. sternopetala* E; *C. japonicus* 1; 20:0, 2; 20:145, 3; 20:149, 4; 20:1411, 5; 20:1413, 6; 20:2 (45,11), 7; 20:2 (45,13).

とが報告されている²⁾⁻⁶⁾。従って 45 脂肪酸は食物連鎖経路を通過してえさの海藻よりウニの体内へ入ったものではなく、ウニの体内で、代謝作用あるいは微生物の働きにより合成されたものと推定される。なお、45 脂肪酸の前駆物質として考えられるのは、20:0, 20:1 411, 20:1 413 など、これらが 45 脱水酵素の働きによりそれぞれ 20:1 45, 20:2 (45, 11), 20:2 (45, 13) に変化すると考えられる¹⁾。これは GLC 分析において 20:0 と 20:1 45, 20:1 411 と 20:2 (45, 11), 20:1 413 と 20:2 (45, 13) の量的関係が類似していることから推測される (Fig. 2)。20:2 (45, 11), 20:2 (45, 13) の炭素 2 個の延伸により生じると考えられる 22:2 (47, 13), 22:2 (47, 15) は今回分析されたウニ綱の動物にも認められたが存在量は比較的少なく、特に 22:2 (47, 13) のほうはほとんど存在しない試料もあったため、この炭素 2 個の延伸は 2 つの C₂₀NMI ジエン酸に対し選択性があるものと考えられる。

生活環境、食物連鎖経路と脂肪酸組成 各試料の間で脂肪酸組成を比較すると明らかな違いが認められた。海藻を主なえさとし、浅海の岩場に生息するバフンウニ、ムラサキウニ、アカウニ⁷⁾の脂肪酸組成は類似しているが、マンジュウウニとタコノマクラの脂肪酸組成はこれら 3 種類のウニとかなりの差が 14:0, 16:0, 18:0 などの飽和脂肪酸や、18:4 ω 3, 20:4 ω 6, 20:5 ω 3, 22:6 ω 3 などの高度不飽和脂肪酸にみられた (Table 2)。これらの脂肪酸組成の違いはそれぞれの生息環境及び食性の違いによると推定される。ウニのえさとなる海藻中には代表的な海産動物脂肪酸であるエイコサペンタエン酸 (20:5 ω 3) は含まれるが、もう 1 つの代表的な海産動物脂肪酸であるドコサヘキサエン酸 (22:6 ω 3) はほとんど含まれない²⁾⁻⁶⁾。このためか浅海の岩場に生息し海藻をえさとするウニでも 20:5 ω 3 は多く存在するが、22:6 ω 3 はほとんど存在しない (Table 2)²⁾⁻⁶⁾。マンジュウウニの生息する場所は一般に 100~500 m の深海⁷⁾で、この深度は植物の光合成量と呼吸量が等しくなる補償深度より深いので、植物プランクトンや海藻の成長は見られないはずである¹⁴⁾。従ってマンジュウウニは、表層より沈降してくる動植物の死がいやその分解物を主なえさとしており、そのため浅海に生息する 3

種類のウニに比べ、動物質のえさをとる割合が多く、これは 22:6 ω 3 が比較的多く存在することにより示されている (Table 2)。またタコノマクラは浅海の砂上、砂中に生息し、そこに散らばる動植物細片をえさとしており⁷⁾、このことから岩場に生息し海藻をえさとするウニと異なった脂肪酸組成をもつと考えられる。マンジュウウニ、タコノマクラの間にもかなりの脂肪酸組成の違いがみられたが、これはそれぞれの食性及び生息環境が著しく異なったり、代謝機能も相違するためと考えられる。

文 献

- 1) Takagi, T., Eaton, C.A. and Ackman, R.G. (1980). Distribution of fatty acids in lipids of the common Atlantic Sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **37**, 195-202.
- 2) 板橋 豊・高木 徹 (1980). 海産動植物油脂肪酸のガラスキャピラリーガラスクロマトグラフィ。油化学 **29**, 77-87.
- 3) 旭 正彦 (1981). 海藻の脂質成分に関する研究。炭化水素および脂肪酸。北海道大学水産学部昭和55年度修士論文, 73 p.
- 4) Ackman, R.G. and McLachlan, J. (1977). Fatty acids in some Nova Scotian marine seaweeds: A survey for octadecapentaenoic and other biochemically novel fatty acids. *Proc. N.S. Inst. Sci.* **28**, 47-64.
- 5) Jamieson, G.R. and Reid, E.H. (1972). The component fatty acids of some marine algal lipids. *Phytochemistry* **11**, 1423-1432.
- 6) Johns, R.B., Nichols, P.D. and Perry, G.J. (1979). Fatty acid composition of ten marine algae from Australian waters. *Phytochemistry* **18**, 799-802.
- 7) 岡田 要・内田清之助・内田 亨 (1974). 新日本動物図鑑 [下]. 763 p. 北隆館, 東京.
- 8) 内田 亨 (1974). 動物系統分類学. 8, (中). 棘皮動物. 403 p. 中山書店, 東京.
- 9) 牧野富太郎 (1977). 牧野新日本植物図鑑. 33d Ed. 1060 p. 北隆館, 東京.
- 10) Bligh, E.G. and Dyer, W.J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* **37**, 911-917.
- 11) Paradis, M. and Ackman, R.G. (1977). Potential for employing the distribution of anomalous non-methylene-interrupted dienoic fatty acids in several marine invertebrates as part of food web studies. *Lipids* **12**, 170-176.
- 12) Ackman, R.G. and Hooper, S.N. (1973). Non-methylene-interrupted fatty acids in lipids of shallow-water marine invertebrates: A comparison of two molluscs (*Littorina littorea* and *Lunatia triseriata*) with the sand shrimp (*Crangon septemspinus*). *Comp. Biochem. Physiol.* **46B**, 153-165.
- 13) Pollero, R.J., Brenner, R.R. and Gros, E.G. (1981). Seasonal changes in lipid and fatty acid composition of the freshwater mollusk, *Diplodom patagonicus*. *Lipids* **16**, 109-113.
- 14) 海洋科学基礎講座編集委員会 (1973). 海洋科学基礎講座 **11**, 海洋生化学 435 p. 東海大学出版会, 東京.