

## 乾燥マコンブの復水特性とその微細構造 (1)

奥 田 弘 枝

### Rehydration Characteristics and Fine Structure of *Laminaria japonica* (1)

Hiroe OKUDA

#### ABSTRACT

In order to clarify the rehydration characteristics dried *Laminaria* were submerged in distilled water at 20°C for a given period of time and the rehydration value, rehydration rate and morphological changes were studied.

Rehydration curves of different parts of dried *Laminaria* were searched by rehydration value according to the time of moisture using the theoretical model of expression  $Y = AX^B$ . The significance of the model was tested by R squared, Analysis of variance and T value and the high correlation coefficient was obtained.

Three different parts; base, middle and top of leaf body showed three stages of rehydration rate respectively.

The rehydration rate increased rapidly for the first 10 minutes after submersion and until 60 minutes it increased slowly, then it approached an equilibrium.

Regression line (the theoretical model is  $Y = A + BX$ ) of rehydration value for rehydration surface area of three different parts were also calculated and high correlation coefficient was obtained between rehydration value and surface area of each part of leaf body.

The increasing ratio of width was five times as much as increasing ratio of length of a given dried square *Laminaria* after rehydration.

Morphological observation revealed that the atrophy and degeneration accompanying many vacuole of the epidermal cells of the dried *Laminaria* were remarkable.

Although the dried *Laminaria* recover its outer figure by rehydration, the fine structure of the dried *Laminaria* is remarkably different from that of raw matter.

#### I 緒 言

一般に生鮮コンブは乾燥して保存され、使用時に復水して調理加工を行う。乾燥コンブは乾燥処理の際の表面硬化、収縮変形、化学成分の移動現象 (Van Arsdell 1964, Jason 1965,

横尾(1977)などにより、生鮮コンブとはかなり変化しているものと考えられる。コンブの乾燥に関する研究は岩垂(1961)、相沢(1963)や、横尾(1976, 1977)らの報告があり、乾燥野菜・果物については Wuhmann ら(1958)、McIlrath ら(1963)、柴崎(1965)や、Saravacos ら(1968)の報告がある。乾燥肉類では Auerbach(1954)や、Wang(1954)らの報告、乾燥魚類では Connell(1957)、Love(1962)、Jason(1965)や、上岡ら(1966)の報告があり、その他の乾燥に関する報告では Macey(1940)、亀井ら(1950, 1952)、Görling ら(1957)や、Paulsen(1961)らの多くの研究がある。しかし、乾燥コンブの復水に関する研究では横尾(1981, 1983)があるにすぎない。そこで、乾燥マコンブの復水特性を明らかにする目的で、乾燥マコンブを浸漬水中で復水し、復水量の経時的变化や、復水後の水分の定量、および形態学的研究を行ったので、その結果を報告する。

## II 実験方法

### 1. 試料

用いた試料は、1982年9月、函館市石崎町で採取された、2年生の天然マコンブ (*Laminaria japonica*) を天火乾燥させたもので、本実験には3本使用した。用いた葉体の平均は、重量 120 g、葉長 282 cm、葉幅(最大) 17 cm、中帯部 6 cm、水分量は湿量基準で11.7%、乾量基準で13.3%である。マコンブ葉体の中帯部の縦の線に沿って、基部(5~25 cm)、中間部(150~170 cm)、先端部(260~280 cm)に分割して用いた。

### 2. 実験方法

#### (1) 復水量の測定

試料は基部、中間部、先端部に分割したものを、部位による差をなくするため、両端を除いた中央部を4×4 cm 大に整形し、それぞれ6試料ずつ用いた。復水量の測定には Spinella 法(1959)、沔紙法(McIlrath 1963)があるが、Paulsen(1961)、柴崎(1965)や横尾(1981)らが行った方法に準じて測定した。すなわち、恒温水槽を用いて 20°C に調整した蒸留水(pH 5.7)中にステンレス製金網の試料容器ごと入れ、任意時間浸漬して引き上げ、濾紙(No. 2)で表面付着水を拭き取り、一定時間放置後、復水量を秤量した。

#### (2) 復水による表面積の測定

前述の「復水量の測定」に用いた試料を Section paper にその形状を写し取り、画像解析装置 MOP-01 で表面積を測定した。

#### (3) 水分の定量

乾燥した葉体中間部、およびそれを復水した場合の試料をそれぞれ 5.00 g とり、105°C の乾燥器で乾燥させて求めた。なお、恒量となった重量をもって無水重量とした。

## (4) 復水による縦、横の長さの測定

「復水による表面積の測定」で、Section paper に写し取った形状を、さらに Measure を用いて、葉体の縦（中央帯に平行）の長さ、および横（中央帯に直角）の長さを計測した。

## 3. 組織および細胞観察用試料の調整

## (1) 光学顕微鏡（以下、OLM）観察用試料の調整

乾燥マコブは葉体の中央部から一片約 2 mm の小四角片を切り出し試料に用いた。

復水後の試料は前述の「復水量の測定」に用いた試料のうち、60分間復水した葉体中央部を1片約 2 mm の小四角片に切断して用いた。

それぞれの試料は 0.1 M Sodium cacodylate buffer (pH 7.4) で稀釈した 2% Glutaraldehyde で 5°C, 2 時間の後固定を行った。ついで、0.1 M Sodium cacodylate buffer (pH 7.4) で稀釈した 10~40% の Ethanol 系列で順次脱水の後、Epon 包埋した試料を、LKB Ultramicrotome でおよそ 800Å の超薄切片を作製し、Richardson 染色を行った。

## (2) 透過型電子顕微鏡（以下、TEM）観察用試料の調整

試料は OLM の Epon 包埋の方法と同様に固定脱水の後、LKB Ultramicrotome で 200~400Å の超薄切片を作製し、Uranyl acetate 液で 20 分間、Milloning 液で 10 分間染色を施した。観察は JEM 100-B 型 TEM を用い、加速電圧は 80 kV で行った。

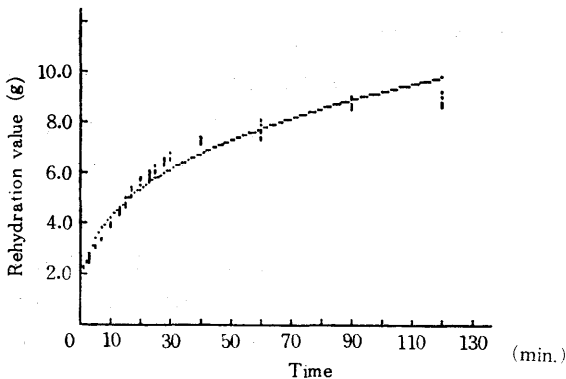


Fig. 1 Rehydration curve of base part of dried *Laminaria japonica*.

Dried slice of *Laminaria japonica* was rehydrated by submerging it in distilled water at 20°C.

Rehydration curve:  $Y = 1.9507X^{0.3363}$

R squared = 0.968191

Standard error of estimate is 0.0764

Computed T value for testing Beta = 0 is

56.8013

Standard error of the estimator for use in

constructing confidence intervals for Beta

is  $\pm 0.0059$

Rehydration values: weight of moisture per unit weight of wetting matter.

## III 実験結果および考察

## び考察

## 1. 復水速度

基部の浸漬時間に対する復水量 (g) を Fig. 1 にプロットした。図から基部の復水量 (g) は約 90 分でほぼ平衡に達することから、浸漬時間 0~120 分迄の復水速度係数

**Table 1.** Analysis of variance of rehydration curve  
(Base part of *Laminaria japonica*)

Source	S. S. (平方和)	D. F. (自由度)	M. S. (平均平方和)	F (比)
Regression	18.8517	1	18.8517	3226.3900
Error	0.6194	106	0.0058	
Total	19.4711	107		

Bを求めるため、回帰分析を試みた。理論モデルは次式である。

$$Y = AX^B$$

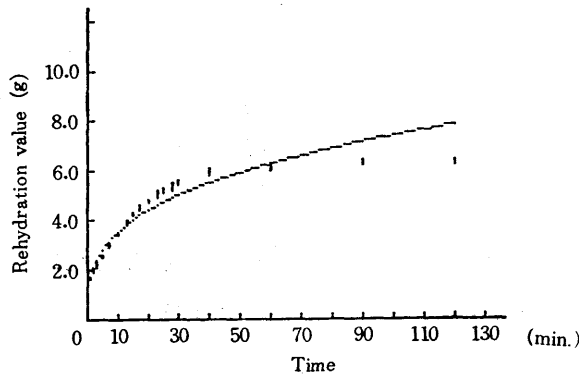
Y : 復水量 (g)

A : 初期値

X : 浸漬時間

B : 復水速度係数

初期値  $A=1.9507$  で、復水速度係数 (浸漬時間 1 分間における復水速度の係数)  $B=0.3363$  となる。従って、 $Y=1.9507X^{0.3363}$  の式から図中の復水曲線を求めた。次にこの理論モデル



**Fig. 2** Rehydration curve of middle part of dried *Laminaria japonica*.

Rehydration curve:  $Y=1.6858X^{0.3204}$

R squared=0.950554

Standard error of estimate is 0.0917

Computed T value for testing Beta=0 is 45.1413

Standard error of the estimator for use in constructing confidence intervals for Beta is  $\pm 0.0071$

の有効性を調べるため、まず、R squared (決定係数  $R^2$ ) を求めたところ、0.968191の値が得られ、かなり高い相関性と共に、このモデルの有効性が示された。さらに、Analysis of variance (分散分析) は Table 1 のような値が得られ、これによっても有効性が認められた。また、Standard error (標準誤差) は0.0764、T value (T値: 勾配の有意差検定) は56.8013、Confidence intervals (信頼区間) は  $\pm 0.0059$  となり、復水曲線は十分に信頼出来るものであ

る。基部の復水量は、浸漬開始と同時に10分迄は急速に増加するが、その後90分迄はやや緩慢となり、その後はさらに一層緩慢となる三段階の復水速度を示す。

中間部の浸漬時間に対する復水量 (g) を Fig. 2 にプロットし、浸漬時間0~120分迄の復水速度係数を求めた。初期値  $A=1.6858$ 、復水速度係数  $B=0.3204$  となり、 $Y=1.6858X^{0.3204}$  から復水曲線を図中に示した。検定結果は  $R\text{ squared}=0.950554$  の値が得られ、基部と同様に高い相関性が認められた。Analysis of variance は Table 2 のようになり、有意である。

Standard error は0.0917, T value=45.1413, Confidence intervals は $\pm 0.0071$ となり、復

Table 2. Analysis of variance of rehydration curve  
(Middle part of *Laminaria japonica*)

Source	S. S.	D. F.	M. S.	F
Regression	17.1193	1	17.1193	2037.7300
Error	0.8905	106	0.0084	
Total	18.0098	107		

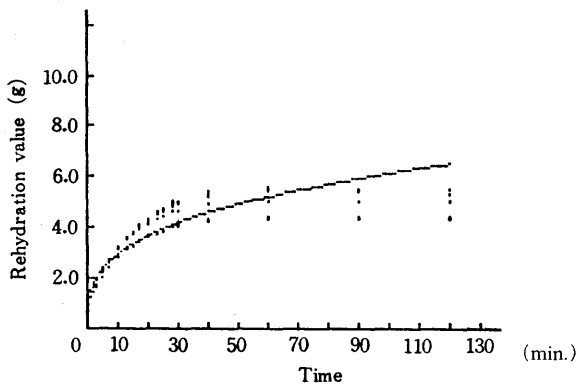


Fig. 3 Rehydration curve of top part of dried *Laminaria japonica*.

Rehydration curve:  $Y=0.3524X^{0.3162}$

$R\text{ squared}=0.896163$

Standard error of estimate is 0.1350

Computed T value for testing Beta=0 is 30.2462

Standard error of the estimator for use in constructing confidence intervals for Beta is  $\pm 0.0105$

水曲線は信頼にたりうる。中間部の復水量は浸漬開始と共に、10分迄は急速に増加するが、10分後、60分迄はやや緩慢となり、60分以後はさらに緩慢となる。基部と同様に三段階の復水速度を示す。

先端部の浸漬時間に対する復水量 (g) を Fig. 3 にプロットした。基部、中間部に比較して復水量 (g) にややバラつきがあるのは、他の部位より、先端部は試料間に固体差があるためと考えられる。浸漬時間0~120分迄の初期値  $A=0.3524$ 、復水速度

係数  $B=0.3162$  の値を求め、 $Y=0.3524X^{0.3162}$  から復水曲線を図中に示した。検定結果は  $R\text{ squared}=0.896163$  の値から相関性が得られた。基部、中間部に比較してややその値が低いのは前述の復水量のバラつきが原因と考えられる。Analysis of variance は Table 3 に示すように有意である。

Table 3. Analysis of variance of rehydration curve  
(Top part of *Laminaria japonica*)

Source	S. S.	D. F.	M. S.	F
Regression	16.6685	1	16.6685	914.8330
Error	1.9313	106	0.0182	
Total	18.5998	107		

Standard error は0.1350で T value は30.2462, Confidence intervals =  $\pm 0.0105$  の値から、十分信頼出来る復水曲線であると言える。復水量は10分迄は急速に増加するが、その後60分迄はやや緩慢となり、60分以降は一層緩慢となる、他の二部位と同様に三段階の復水速度を示す。

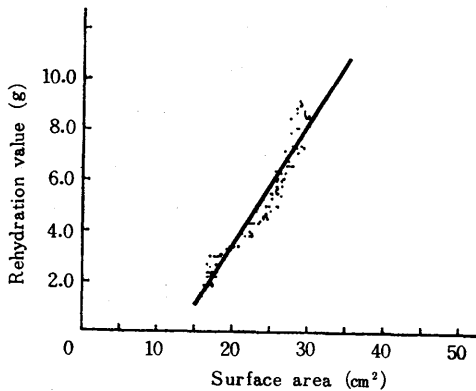


Fig. 4 Regression line of rehydration value (g) and surface area (cm<sup>2</sup>) by rehydration of base part of dried *Laminaria japonica*.  
Regression line:  $Y = -6.3089 + 0.4410X$   
 $R\text{ squared} = 0.915529$   
Standard error of estimate is 0.6529  
Computed T value for testing Beta=0 is 35.7621  
Standard error of the estimator for use in constructing confidence intervals for Beta is  $\pm 0.0135$

横尾 (1981) の熱風乾燥処理した、養殖マコンブの復水に関する報告では、復水量は浸漬開始5分ごろ迄は直線的に増加するが、5分以後からは次第に緩慢となり、およそ80分以後は緩慢な状態が続き、平衡復水量に達する三段階の復水期間があるとしている。また、横尾(1976)は乾燥リシコンブの復水は比較的早く、浸漬後およそ50分前後で、ほとんど乾燥前の含水量まで復元したと述べている。

復水現象は、コンブの種類、生育環境、採取時期、乾

乾燥方法の違いなどにより、異なるものと考えられるが、筆者の実験結果（天然マコブを天火乾燥させた試料）からも、三段階の復水速度を示す事が証明された。

## 2. 復水表面積 (cm<sup>2</sup>) と復水量 (g) との関係

基部の復水量 (g) を縦軸に、復水表面積 (cm<sup>2</sup>) を横軸に、Fig. 4 にプロットした。図中の直線は Regression line で、理論モデルは次式である。

$$Y = A + BX$$

Y : 復水量 (g)

A : 初期値

B : Regression coefficient

X : 表面積 (cm<sup>2</sup>)

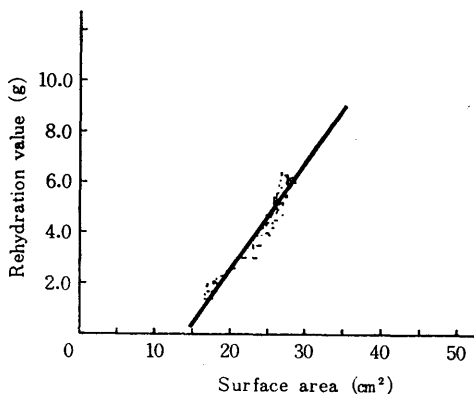
初期値  $A = -6.3089$  で、Regression coefficient  $B = 0.4410$  の値が得られた。 $Y = -6.3089 + 0.4410X$  となり、これから図中の Regression line を求めた。検定結果は R squared = 0.915529, また、T value は 35.7621, さらに、Analysis of variance は Table 4 のようになり、各々このモデルの有効性を示した。

Table 4. Analysis of variance of regression line  
(Base part of *Laminaria japonica*)

Source	S. S.	D. F.	M. S.	F
Regression	545.3180	1	545.3180	1278.9300
Error	50.3135	118	0.4264	
Total	595.6315	119		

なお、Standard error は 0.6529, Confidence intervals は  $\pm 0.0135$  であり、Fig. 4 の Regression line は十分に信頼出来る。復水表面積と復水量の関係は Fig. 4 のごとく、表面積が 1 cm<sup>2</sup> 膨潤するに従い、復水量が 0.4841 g 増加する事が分かる。つまり、乾燥した葉体の基部を復水することにより、表面積が 15 cm<sup>2</sup> に膨潤した場合、復水量は 0.9526 g となる。また、表面積が 30 cm<sup>2</sup> に膨潤した場合は復水量は 8.2141 g となる。

中間部について復水量 (g) を縦軸に、復水表面積 (cm<sup>2</sup>) を横軸にして Fig. 5 にプロットした。初期値  $A = -5.7533$  で Regression coefficient  $B = 0.4159$  となる。 $Y = -5.7533 + 0.4159X$  の式から Regression line を求め図中に示した。検定結果は R squared = 0.933109 の値から高い相関が得られた。Analysis of variance は Table 5 のような結果となり、こ



**Fig. 5** Regression line of rehydration value (g) and surface area (cm<sup>2</sup>) by rehydration of middle part of dried *Laminaria japonica*.  
 Regression line:  $Y = -5.7533 + 0.4159X$   
 R squared = 0.933109  
 Standard error of estimate is 0.4213  
 Computed T value for testing Beta = 0 is 40.5716  
 Standard error of the estimator for use in constructing confidence intervals for Beta is  $\pm 0.0103$

の表からも有意であると言える。

Standard error は 0.4213, T value は 40.5716, Confidence intervals は  $\pm 0.0103$  となり、基部と同様に十分に信頼出来る。表面積が 1 cm<sup>2</sup> 膨潤するに従い、復水量が 0.4159 g 増加する。乾燥した葉体の中間部を復水し、表面積が 15 cm<sup>2</sup> に膨潤した場合、復水量は 0.4832 g となり、表面積が 30 cm<sup>2</sup> に膨潤した場合は復水量は 6.7217 g となる。

先端部も同様に復水量 (g) を縦軸に、復水表面積 (cm<sup>2</sup>)

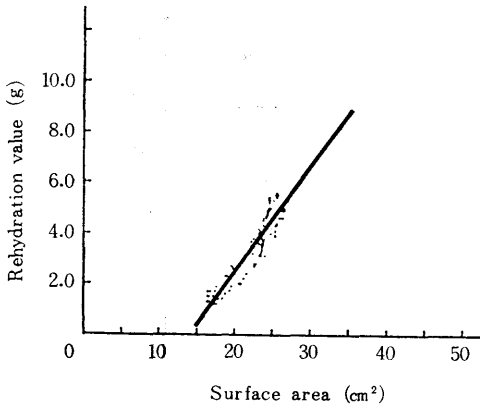
**Table 5.** Analysis of variance of regression line  
 (Middle part of *Laminaria japonica*)

Source	S. S.	D. F.	M. S.	F
Regression	292.0100	1	292.0100	1646.0600
Error	20.9332	118	0.1774	
Total	312.9432	119		

を横軸にして、Fig. 6 にプロットした。初期値  $A = -5.8300$ , Regression coefficient  $B = 0.4137$  から、 $Y = -5.8300 + 0.4137X$  となり、この式から Regression line (Fig. 6) を求めた。検定結果は R squared = 0.86178 で、基部、中間部に比較してやや値が低いのは復水曲線と同様に試料にバラつきがあるためと考えられるが、やはり、かなり高い相関が得られた。Analysis of variance は Table 6 のようになり、有意の差がある。

Standard error は 0.5053, T value は 27.1239, Confidence intervals は  $\pm 0.0153$  となり、他の二部位と同様に信頼の出来る Regression line である。表面積が 1 cm<sup>2</sup> 膨潤するに従い、復水量が 0.4137 g 増加する。乾燥した葉体の中間部を復水し、表面積が 15 cm<sup>2</sup> に膨潤





**Fig. 6** Regression line of rehydration value (g) and surface area (cm<sup>2</sup>) by rehydration of top part of dried *Laminaria japonica*.  
 Regression line:  $Y = -5.8300 + 0.4137X$   
 $R^2 = 0.86178$   
 Standard error of estimate is 0.5053  
 Computed T value for testing Beta=0 is 27.1239  
 Standard error of the estimator for use in constructing confidence intervals for Beta is  $\pm 0.0153$

した場合、復水量は0.3755gとなり、表面積が30 cm<sup>2</sup>に膨潤した場合は復水量は6.581 gとなる。Regression coefficientは基部、中間部、先端部の三部位間では殆ど差は見られないが、表面積が30 cm<sup>2</sup>に膨潤した場合、基部に比べて先端部の復水量は約2 g近く少ない。

### 3. 復水した葉体の水分量

乾燥した葉体中間部の水分量は湿量基準で11.7%、乾量基準で13.3%ある (Fig. 7)。これを復水すると、5分後の水分量は湿量基準で58.6%、乾量基準で141.5%となり、

**Table 6.** Analysis of variance of regression line  
 (Top part of *Laminaria japonica*)

Source	S. S.	D. F.	M. S.	F
Regression	187.8610	1	187.8610	735.7080
Error	30.1310	118	0.2553	
Total	217.9920	119		

5分間での吸水が急速に行われることが分かる。10分後には湿量基準で72.2%、乾量基準で259.7%の水分量となり、前述の復水曲線に見られたように、10分間で急速に復水量が増加する事を裏づけている。60分後には湿量基準で87.8%、乾量基準で719.7%となり、24時間後の水分量が湿量基準で88.4%、乾量基準で762.1%あり、60分後の水分量とあまり変化がない事から、60分でほぼ平衡復水量に達する。これは、復水曲線が60分以降は非常に緩慢になる事とも一致し、60分あたりが復水の変換点と考えられる。

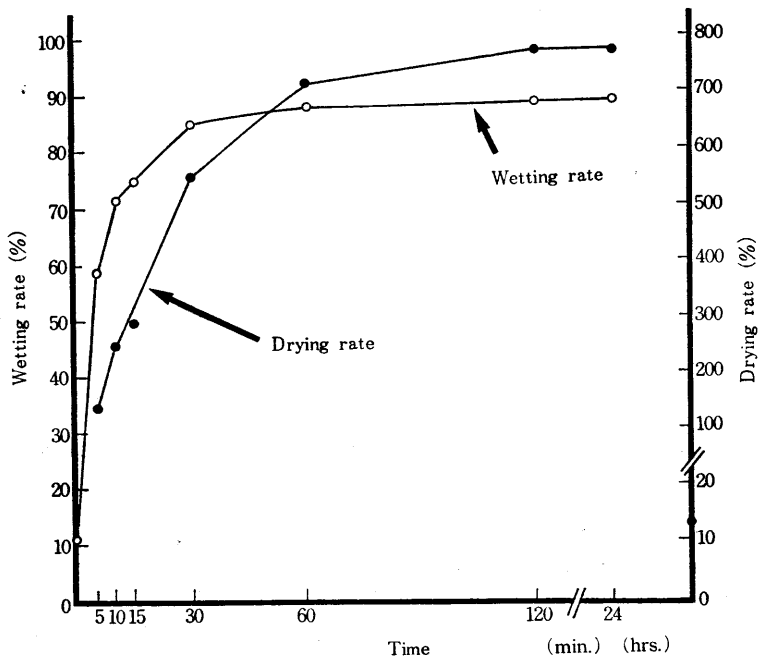


Fig. 7 Water content of dried *Laminaria japonica* after rehydration. Dried slice of middle part of *Laminaria japonica* was rehydrated by submerging it in distilled water maintained at 20°C.

#### 4. 復水による葉体の縦と横の長さの膨潤度

乾燥した葉体を復水した場合の縦と横の長さの膨潤度を浸漬時間ごとにプロットした (Fig. 8)。基部、中間部、先端部とも横の長さは、浸漬後10分迄は直線的に増加するが、10分以降は緩慢となり、60分でほぼ平衡に達する。これは復水曲線および、葉体の水分量が平衡に達する時間と一致する。平衡時における横の長さの膨潤度は基部と中間部では大差ないが、先端部は他の二部位より膨潤度が悪い。縦の長さは非常に緩やかな膨潤曲線を描き、浸漬後30分で基部、中間部、先端部ともほぼ平衡に達する。縦の長さの膨潤度は部位間での差が少ない。基部は平衡時の横の長さの膨潤割合が51%に対して、縦の長さの膨潤割合は12%である。中間部は平衡時の横の長さの膨潤割合が45%に対して、縦の長さの膨潤割合は7%である。先端部は平衡時の横の長さの膨潤割合が32%に対して、縦の長さの膨潤割合は6.5%であった。縦、横とも基部が最も長さの膨潤割合が大きく、ついで中間部、先端部の順である。これは復水曲線、Regression line で述べたように、部位による厚みの違いに関連性があるものと考えられる。

次に復水による組織および細胞の再現性を見る目的で形態学的観察を行った。

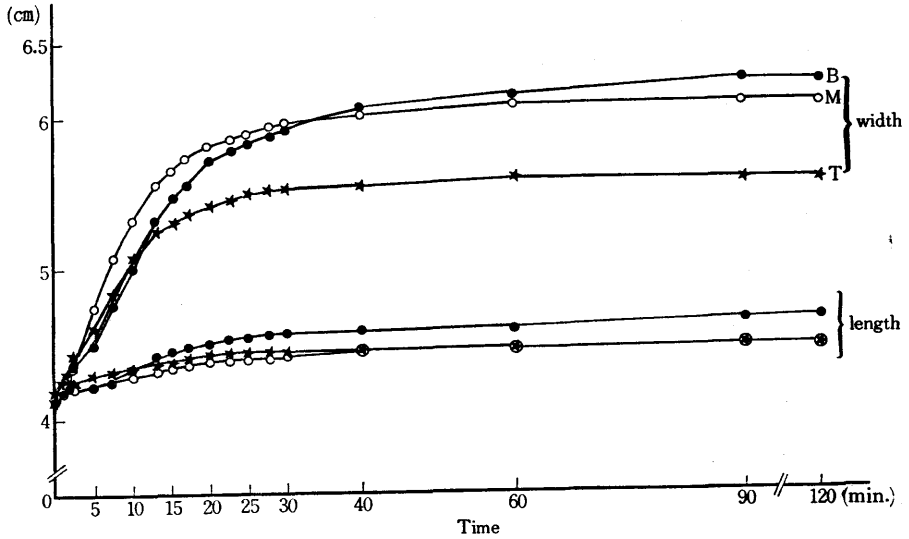


Fig. 8 Increase of the length and width of dried *Laminaria japonica* by rehydration. B: Base part, M: Middle part, T: Top part.

## 5. 組織および細胞の形態学的観察

### (1) 乾燥した葉体の OLM による観察

試料を通常の OLM 観察用切片の厚さである、 $3\sim 5\ \mu\text{m}$  に切断した場合、表層から皮層にかけて縦長の亀裂が生じ、さらに、両方の層の間が引き千切れてしまう。その原因として、試料が乾燥した状態であるため、表面硬化、変性が著しく、切片の傷みが激しいものと考えられる。従って、 $3\sim 5\ \mu\text{m}$  の切片では組織の形状を観察する事は困難である。そこで、LKB Ultramicrotome を用いておよそ  $800\text{\AA}$  の切片を切り出したところ、傷みの少ない切片が得られ (Fig. 9), OLM での観察が容易になった。葉体の組織構造は外側より、最外層の細胞壁、表層、皮層、随層の順に配列している。一番外側に最外層の細胞壁が観察される (Fig. 9)。その内側の表層は  $6\sim 8$  層の石垣状細胞からなり、最外層の細胞壁に近い細胞ほど小型で、皮層に近い細胞は大型である。細胞内には空胞が観察される。皮層は  $15\sim 20$  層の細胞が見られ、細胞は委縮している。

皮層細胞はいびつな形をしており (Fig. 10), 細胞壁と細胞質の区別が困難なほど変性が著しい。細胞壁には皺が生じている。細胞内には大小様々な空胞が観察される。

### (2) 復水した葉体の OLM による観察

前述の復水曲線や、復水した葉体の水分量等から、復水の変換点は60分あたりにあると考えられる。そこで、復水60分における葉体の形態学的観察を行った (Fig. 11)。表層は  $6\sim 8$

層の細胞が観察され、乾燥した葉体の表層と同様である。表層細胞の形状も乾燥したものと大きな違いは見られないが、復水後は細胞壁の輪郭が明瞭になる。皮層は15~20層の細胞からなり、乾燥した葉体の皮層細胞の数と殆ど変わらない。

乾燥した皮層細胞の形状は非常にいびつであるが、60分復水後の皮層細胞では復元の良好な細胞も一部認められるものの (Fig. 12), 多くの細胞は細胞壁と細胞質の区別が困難である。細胞壁の皺は乾燥した皮層の細胞壁に比べて、多少復元性が認められる。

### (3) 生鮮葉体の TEM による観察

生鮮 *Laminaria japonica* の葉体の組織および細胞については既に述べたが (奥田1982), 表層細胞は円形, 楕円形, 正方形に近いものや不定形をしており, これらが隣接して配列している。細胞壁は Microfibrils の網目構造をしている。細胞内には Nucleus, Chloroplast, Chloroplast には Thylakoids の Band が認められる。また, Mitochondria 等の細胞小器官が観察される (Fig. 13)。

### (4) 乾燥した葉体の TEM による観察

乾燥した葉体の表層細胞は一般に楕円形のものが多く見られ (Fig. 14), 細胞の形状は比較的原形が保たれている。長径 2~2.5  $\mu\text{m}$ , 短径 1.1~1.5  $\mu\text{m}$  の大きさの細胞が密に隣接して配列している。生鮮葉体の表層細胞内に見られた小器官は、乾燥したものでは判別は不可能で、細胞内には長径 0.13~0.33  $\mu\text{m}$ , 短径 0.08~0.25  $\mu\text{m}$  の小さい空胞が集まって細胞内の大部分を占めている。空胞内には針で突いたような無数の小さい傷が観察される。

細胞と細胞の間にある細胞間連絡には、小さいもので直径 0.3  $\mu\text{m}$ , 大きいもので直径 0.9  $\mu\text{m}$  の空隙があり (Fig. 15), 細胞間連絡部分全体が千切れかかっている。

皮層細胞は変性し、いびつな形をしているが (Fig. 16), 長径およそ 5.5~6  $\mu\text{m}$ , 短径 2~5  $\mu\text{m}$  である。Microfibrils で構成された細胞壁は幅の広いところでおおよそ 2  $\mu\text{m}$  ある。Microfibrils 間には小さいもので直径 0.3  $\mu\text{m}$ , 大きいもので直径 0.9  $\mu\text{m}$  の多数の小孔、あるいはこれらの小孔が連続した空隙が観察される。これに類似した空隙はタラ肉を超急速凍結させた Love (1961) や、魚類を凍結乾燥させた筋繊維に上岡ら (1966) が認めている。皮層細胞壁と細胞質との境い目には直径 0.4~3.5  $\mu\text{m}$  の大小様々な空腔が観察され、細胞内の大部分は空胞化 (大きいもので長径 6  $\mu\text{m}$ , 短径 4.7  $\mu\text{m}$ ) している。細胞内の小器官は壊れて、原形を留めていない。皮層細胞壁および細胞間隙には皺が生じている。

葉体の中心部にある髄層の篩管内には直径 0.25~1  $\mu\text{m}$  の空胞が見られ、大きいものでは篩管内全体が空胞化している (Fig. 17)。篩管細胞壁および基質にも円形や楕円形の空隙が見られ、基質には10本もの深い皺が観察される。篩板の厚さは約 0.1  $\mu\text{m}$  あり、形状は生鮮時の原形を留めている。

## (5) 復水した葉体の TEM による観察

60分間復水した葉体の表層細胞は円形および楕円形をしている (Fig. 18)。大きさは長径  $1.7\sim 2.9\ \mu\text{m}$ 、短径  $1\sim 1.9\ \mu\text{m}$  で乾燥葉体の表層細胞の大きさと比べて大きな違いはない。細胞壁の厚さも  $0.1\sim 0.3\ \mu\text{m}$  で乾燥したものと殆ど変わらない。細胞内の小器官の判別は乾燥したものと同様に不可能である。細胞内の大部分を占める空胞 (小さい空胞の集合体) には水が入っているものと考えられる。空胞内の無数の小さな傷は乾燥時の痕跡を留めており、復水時の水の通路となっていると推察される。細胞全体の形状は乾燥葉体の表層細胞と殆ど変化がない。

皮層細胞壁と細胞質との境い目に見られた空胞は60分間復水した試料では観察されず、細胞内全体に広がっており、内部に水が充満しているものと考えられる (Fig. 19)。細胞内の小器官は壊れている。細胞壁の Microfibrils 間に見られる直径  $0.3\sim 0.9\ \mu\text{m}$  の空隙にも水が入っているものと推察される。

髄層の篩管細胞内の大小様々な空胞 (小さいもので直径  $0.8\ \mu\text{m}$ 、大きいもので  $1.7\ \mu\text{m}$ ) にも水が入っていると考えられる (Fig. 20)。篩板の厚さは約  $0.1\ \mu\text{m}$  で、乾燥葉体の篩板の厚さと殆ど変化がない。篩板には篩孔が観察される。乾燥した葉体の髄層の基質には深い皺が観察されたが、復水したものでは基質の皺は殆ど見られない。

## IV 要 約

2年生の天然マコブ (*Laminaria japonica*) を天火乾燥させた試料を用い、 $20^{\circ}\text{C}$  の蒸留水で一定時間浸漬して、復水特性を調べると共に、復水による組織および細胞の再現性について、形態学的観察を行い、次のような結果を得た。

1. 浸漬時間  $0\sim 120$  分迄の復水曲線は基部で  $Y=1.9507X^{0.3363}$ 、中間部で  $Y=1.6858X^{0.3204}$ 、先端部で  $Y=0.3524X^{0.3162}$  の式で求められる。これらの復水曲線の有効性を調べるため、R squared, Analysis of variance や T value 等から検定を行った結果、高い相関性と共に、有効性が示された。また、Standard error や Confidence intervals の値からも、これらの復水曲線は十分に信頼出来るものである。復水量は浸漬開始と同時に10分迄は急速に増加するが、その後60分 (基部はおおよそ90分) 迄はやや緩慢となり、その後はさらに一層緩慢となる三段階の復水速度を示す。

2. 復水表面積 ( $\text{cm}^2$ ) と復水量 (g) との関係を調べるため、次式から Regression line を求めた。基部は  $Y=-6.3089+0.4410X$ 、中間部は  $Y=-5.7533+0.4159X$ 、先端部は  $Y=-5.8300+0.4137X$  である。検定結果は R squared, T value, Analysis of variance の数値から、これらの Regression line の有効性が示された。また、Standard error, Confidence

intervals の値からも十分に信頼出来ると言える。表面積と復水量との関係は正の相関関係にあり、さらに一定の割合で増加する。つまり、復水は表面積の増加と共に行われる事が分かった。さらに各部位間で Regression coefficient に差がある事から推察して、復水量と試料の厚さとの関係について、今後究明する必要があると考える。

3. 乾燥した葉体中間部の水分量は湿量基準で11.7%, 乾量基準で13.3%ある。これを復水すると、5分間での吸水が急速に行われ、10分後には湿量基準で72.2%, 乾量基準で259.7%の水分量となり、復水曲線に見られたように、10分間で急速に復水量が増加する事を裏づけている。60分ではほぼ平衡復水量に達し(湿量基準で87.8%, 乾量基準で719.7%), 60分あたりが復水の変換点と考えられる。

4. 乾燥した葉体を復水した場合、縦と横の長さの膨潤は基部、中間部、先端部とも横の長さは10分迄は直線的に増加するが、10分以降は緩慢となり、60分ではほぼ平衡に達する。縦の長さは非常に緩やかな膨潤曲線を描き、縦の長さの膨潤割合が1に対して、横の長さの膨潤割合は約5倍である。

5. 乾燥マコンプの表層、皮層細胞とも萎縮、変性が著しく、細胞内部には大小様々な空胞があり、細胞内の小器官の判別は不可能である。細胞壁の Microfibrils の間には多数の小孔、あるいはこれらの小孔が連続した空隙が観察される。細胞壁および細胞間隙には皺が生じている。髄層の篩管内にも大小の空胞が見られ、篩管内全体が空胞化しているものもある。髄層の基質には何本もの深い皺が観察される。

6. 60分間復水した葉体の表層細胞は、乾燥した葉体の表層細胞と比較して、大きさ、細胞壁の厚さとも、大きな違いはなく、細胞の空胞内の針で突いたような小さい無数の傷は、吸水に関わっているものと推察される。復水後の皮層細胞では、中には復元の良好な細胞も見られるが、大部分の細胞はいびつで変性が著しい。細胞内の大部分を占める空胞には、水が充満しているものと考えられる。細胞壁の Microfibrils 間の多数の空隙にも水が入っており、これらの存在が吸水に大きく関わっている。篩管細胞内の大小様々な空胞にも水が入っているものと推察され、復水後では髄層の基質の皺はほとんど観察されない。

乾燥により、組織および細胞は萎縮、変性が著しく、復水後、肉眼的には生鮮マコンプと殆ど変わらない状態に復元されても、形態学的には、はなはだ異なったものであり、生鮮マコンプと同じ状態に迄、復元する事は不可能である。また、復水には細胞の空胞内の無数の小さい傷や、細胞壁、基質の Microfibrils 間の空隙が水の通路となるなど、様々な要因と共に、細胞間隙に存在する、アルカリ物質と結びついた遊離のアルギン酸が膨潤に大きく関与しているものと推察されるが、後者の問題については今後究明したい。

終りに、終始御懇切な御指導を頂いた筑紫女学園短大 川上いつる教授、広島大学原爆放射能医学研究所 岡本直正教授、佐藤幸男助教授に深く感謝申し上げます。御協力を頂いた広島県食品工業試験場 中川禎人氏に心から厚く御礼申し上げます。

なお、本報告は文部省科学研究費一般C (58580063) の援助によるもので、結果の概要は、1983年9月、日本家政学会第35回大会で発表した。

## 引用文献

- Van Arsdel, W. B. Food dehydration I. A. V. Publishing Company, Inc. 1967. 78-80.
- Jason, A. C. Effects of fat content on diffusion of water in fish muscle. J. Sci. Food Agric. 1965. 16 : 281-288.
- 横尾敬七 リシリコンブの乾燥収縮について. 農化. 1977. 51(5) : 281-286.
- 岩垂 亨・久保 正・川村英一・渡辺徹哉 コンブの乾燥に関する試験. 北水試月報. 1961. 18 : 13-26.
- 相沢 悟・岩井 肇・福野悠久 水産物の乾燥に関する試験. 北水試月報. 1963. 21 : 31-39.
- 横尾敬七 リシリコンブの乾燥に関する研究. 農化. 1976. 50(4) : 151-156.
- Wuhrmann, J. J. Simone, M. and Chichester, C. O. The storage stability of freeze-dried soup mixes. Food Technol. 1959. 13 : 36-40.
- McIlrath, W. J. Dekazos, E. D. and Johnson, K. R. Influence of surface-active agents on the rehydration of dried chard leaf tissue. Food Technol. 1963. 17 : 118-120.
- 柴崎一雄・浅野三夫 食品の凍結および凍結乾燥に関する研究(第2報). 食品工誌. 1965. 12(4) : 137-143.
- Wang, H. Auerbach, E. Bates, V. Doty, D. M. and Kraybill, H. R. A histological and histochemical study of beef dehydration. IV. Characteristics of muscle tissues dehydrated by freeze-drying techniques. Food Research. 1954. 19 : 543-556.
- Auerbach, E. Wang, H. Maynard, N. Doty, D. M. and Kraybill, H. R. A histological and histochemical study of beef dehydration. V. Some factors influencing the rehydration level of frozendried muscle tissue. Food Research. 1954. 19 : 557-563.
- Connell, J. J. Some aspects of the texture of dehydrated fish. J. Sci. Food Agric. 8. September. 1957. 526-537.
- Love, R. M. New factors involved in the denaturation of frozen cod muscle protein. J. Food Sci. 1962. 27 : 544-550.
- 上岡康達・岡 弘康・末光栄充 凍結乾燥魚肉に関する研究(第4報). 凍結乾燥魚肉の復元性に及ぼす超低温予備凍結の影響. 食品工誌. 1966. 13(1) : 18-24.
- Macey, H. H. Clay-water relationships and the internal mechanism of drying. Trans. Brit. Ceram. Soc. 1940. 41 : 73-121.
- 亀井三郎・桐栄良三 泥状物質乾燥の研究. 化学機械. 1949. 14(3) : 101-104.
- 亀井三郎・桐栄良三 乾燥収縮の研究. 化学機械. 1952. 16(11) : 372-377.
- Görling, R. und Beuschel, H. Ursachen und Beeinflussung der Schwindungsspannungen bei der Trocknung gel- und pastenartiger Güter. Chem. Ing. Technol. 1959. 31 : 393-398.
- Paulsen, T. M. A study of macaroni products containing soy flour. Food Technol. 1961. 5 : 118-121.

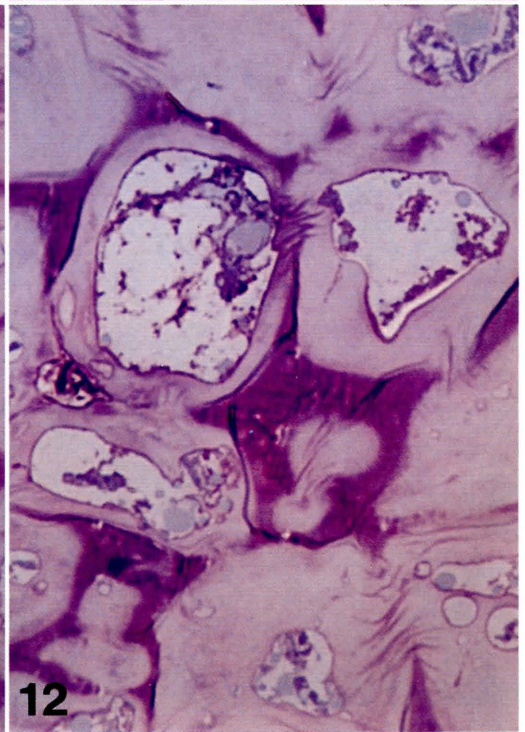
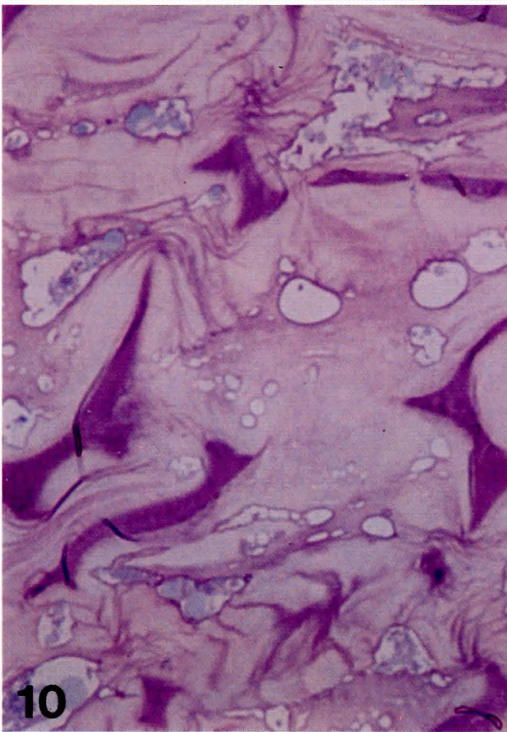
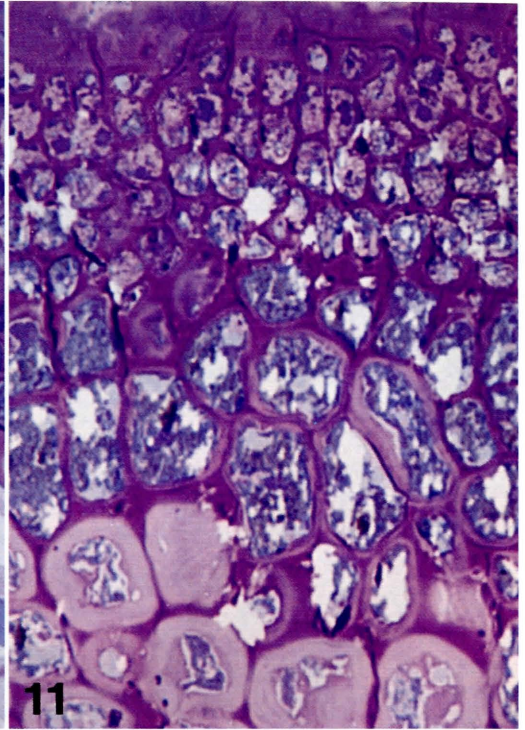
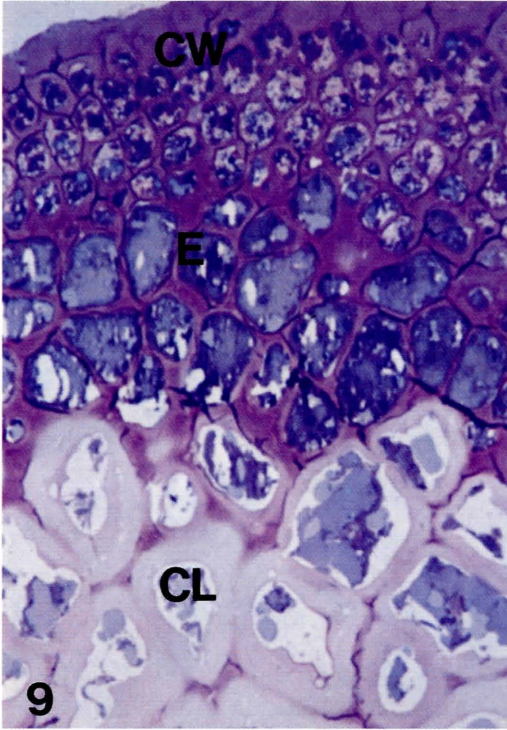
横尾敬七 養殖マコンブの復水特性とテクスチャーについて. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*. 1981. 47(12) : 1637—1641.

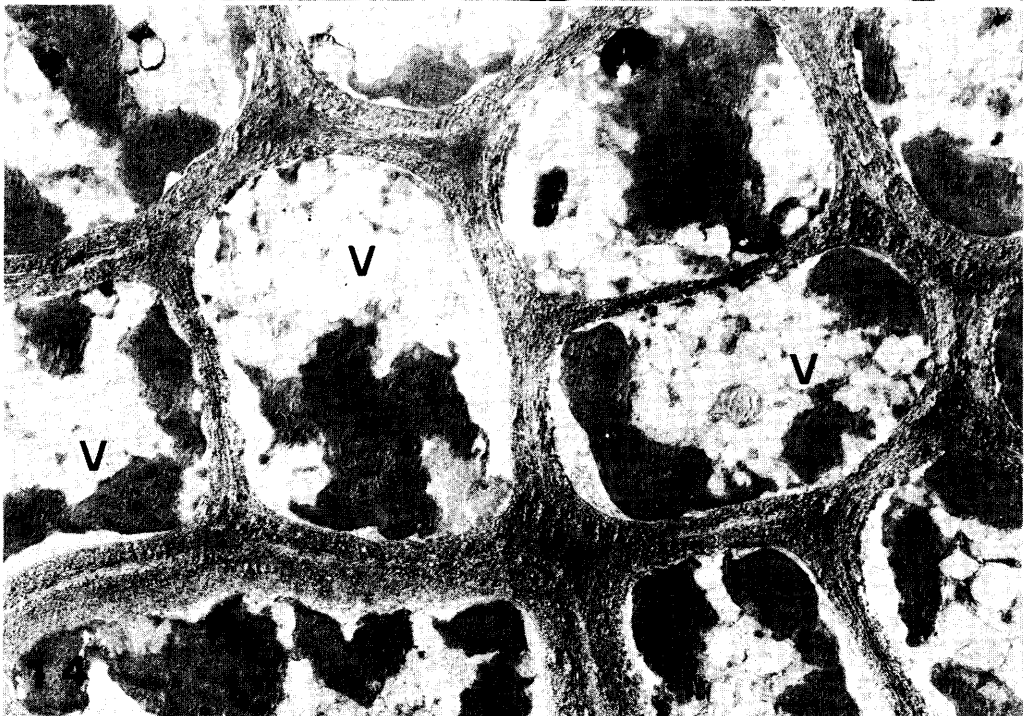
横尾敬七 乾燥マコンブの復水性に及ぼすアミノ酸および酸類の影響. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*. 1983. 49(1) : 103-107.

Spinella, J.R. French, Cyrus, E. and Benejman, G.H. Improvement in the method of cooking certain dehydrated foods. *J. Am. Dietet. Assoc.* 1945. 21 : 118-121.

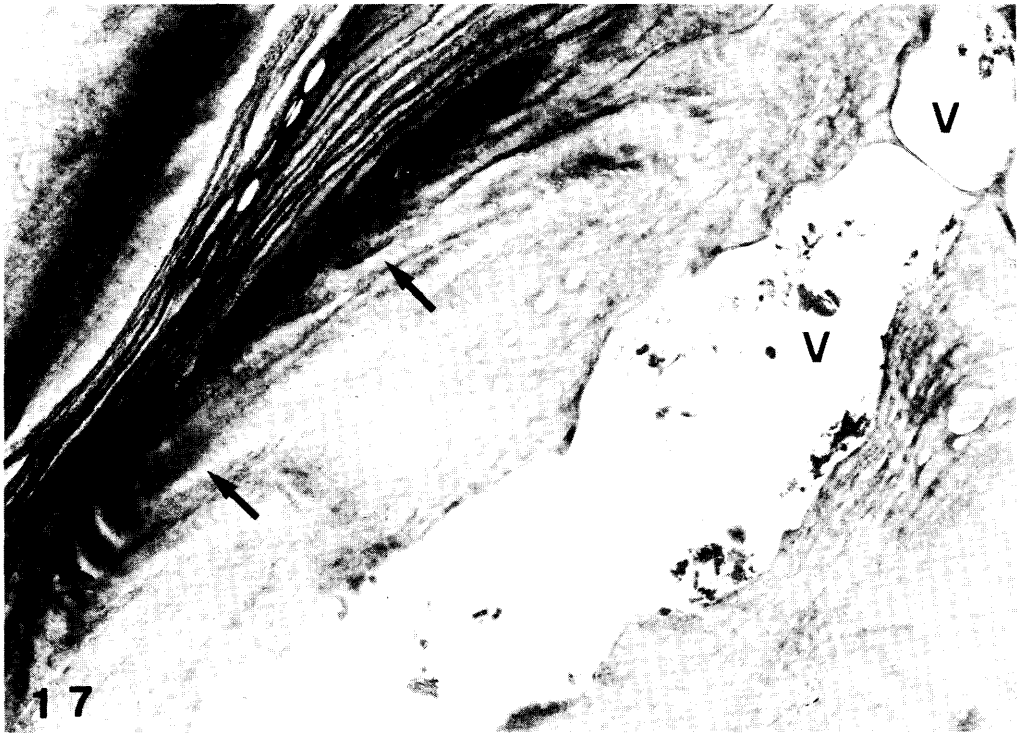
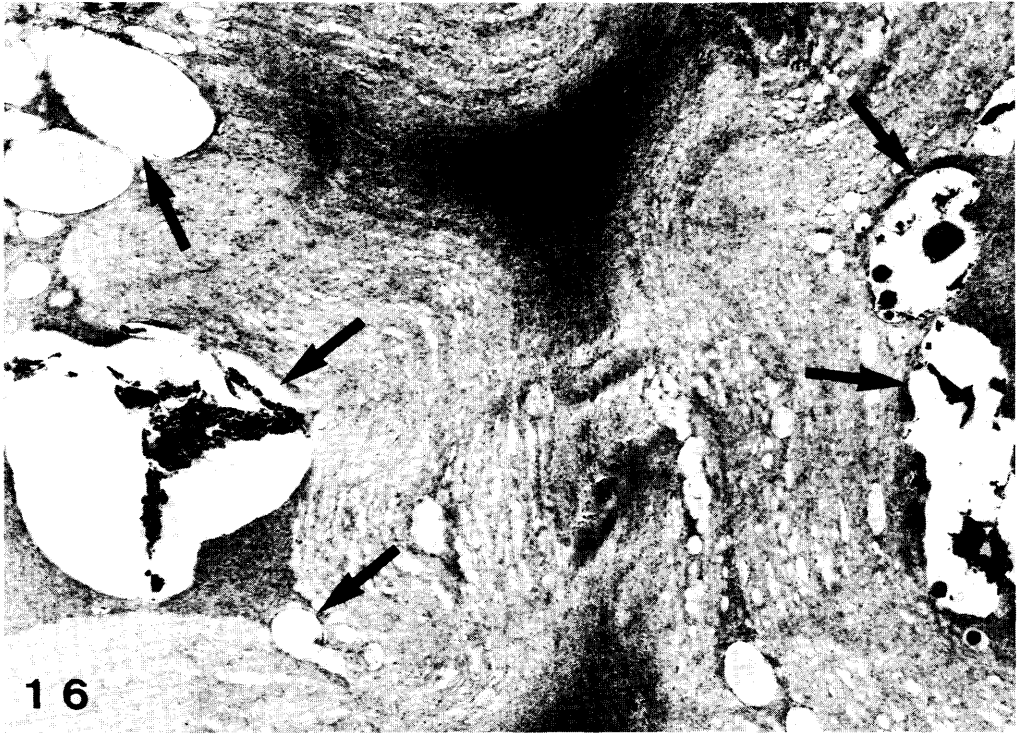
奥田弘枝 褐藻マコンブの粘液腔道および分泌細胞の電顕的観察. 1982年 日本藻類学会第6回春季大会  
講演要旨 p. 95.

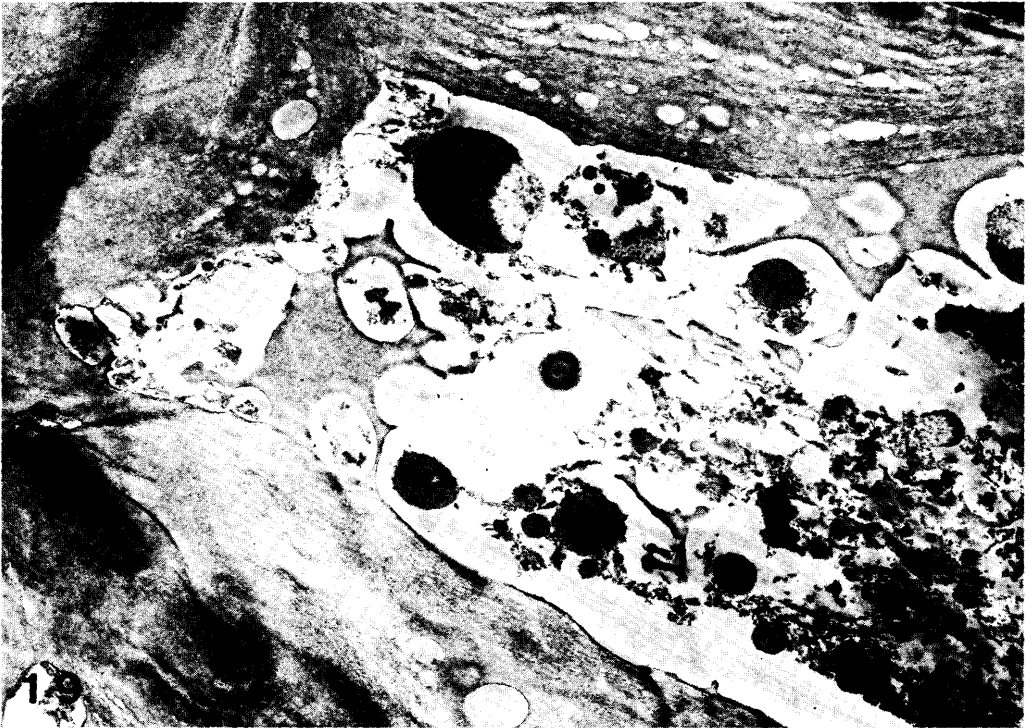
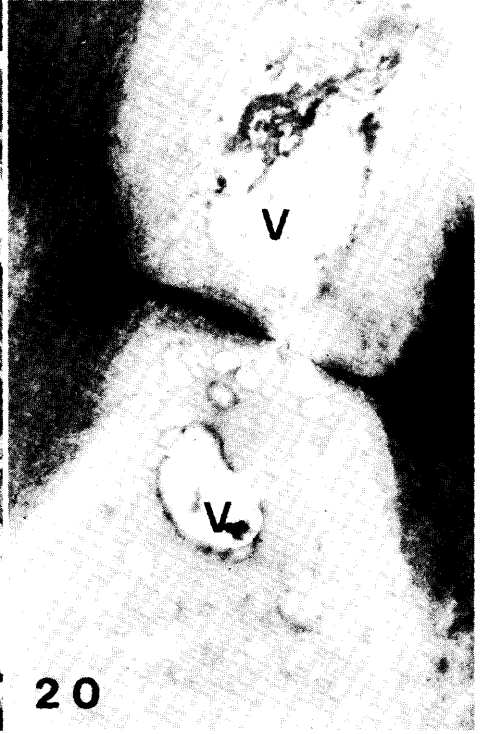












### Explanation of the Figures

- Fig. 9.** Light microscopic photograph of dried leaf body. Cell walls of the most outside epidermal cell (CW), epidermal (E), cortical (CL) and medulary cell layers are observed. Many vacuole are seen in the cytoplasma of the epiderma cells land the cortical cells are atrophic. × 160
- Fig. 10.** Light microscopic photograph of the cortical cells of dried leaf body. Degeneration of the cells are remarkable. × 320
- Fig. 11.** Light microscopic photograph of rehydrated leaf body. Morphology of the epidermal and cortical cells are not so different from that of dried matters. × 148
- Fig. 12.** Light microscopic photograph of cortical cells of rehydrated leaf body. Sixty minutes after submersion, some cells recovered its morphological aspects, while many cells are degenerated. × 320
- Fig. 13.** Electron microscopic photograph of epidermal cell of raw leaf body. In the cytoplasm nucleus (N), mitochondria (M) and chloroplasts (C) including thylakoid bands are observed. CW: cell wall. × 12170
- Fig. 14.** Electron microscopic photograph of epidermal cells of dried leaf body. In the cytoplasm many vacuole (V) are observed and organelle are not clear compare with raw matter as shown in Fig. 13. × 2400
- Fig. 15.** Intercellular communication of dried leaf body. Some vacuolation are seen between two cell wall (↑). × 1240
- Fig. 16.** Cortical cells of dried leaf.  
The width of cell wall increased. Many small vacuole are noticed among microfibrils. Vacuolations are also seen in the border line between cortical cell wall and cytoplasm (↑). × 1980
- Fig. 17.** Medulary layer of dried leaf body.  
Vacuolation (V) of the sieve tube are seen. Some wrinkles are observed in the matrix (↑). × 1630
- Fig. 18.** Epidermal cells of rehydrated leaf body. No differences are observed between these rehydrated epidermal cells for 60 minutes and dried matters (compare with Fig. 14). Organelle in the cytoplasm are not clear. It is suggested that many vacuole contain water. × 1800
- Fig. 19.** Cortical cells of rehydrated leaf.  
Many vacuole are seen in the cytoplasm and between cell wall and cytoplasm. All organelle are degenerated.  
It is also suggested that many vacuole among the microfibrils in the cell wall may be hydrated. × 1200
- Fig. 20.** Medulary layer of rehydrated leaf body. Vacuole in the cells of sieve tube are seen (V). No wrinkles were observed in the matrix after rehydration. × 2000