

# 海洋深層水による藻類の培養及び利用技術に関する研究 ～海洋深層水で培養した藻類の優良素材化技術の開発～

川北浩久・森山貴光・平岡雅規\*  
(\*高知県海洋深層水研究所NEDOフェロー)

電磁波乾燥装置を用いた海洋深層水で単藻培養されたスジアオノリの効率的乾燥条件を検討し、また得られる乾燥スジアオノリの成分特性を把握した。その結果パルス照射により熱影響を排除する事により、ビタミンCや生理活性の損失を抑えた乾燥が可能であった。一方、香気成分は明らかに減少した。

## 1. 目的

ある種の有用藻については海洋深層水を用いた場合、周年培養が可能で生長が早く、単藻培養が容易である事、またこれらから有効な機能性成分の抽出が可能である事がわかっており、事業化に向けた海洋深層水による有用藻類の大量培養のパイロットプラントが稼働しつつある。しかしながら、収穫されたこれら有用藻類の素材化には依然として原始的な天日干しや、冷風乾燥による処理が行われており、電磁波乾燥等の新手法を用いた効率的かつ均質な処理方法の開発が求められている。

今回、電磁波乾燥装置を用いた海洋深層水で単藻培養されたスジアオノリの効率的乾燥条件を検討し、また得られる乾燥スジアオノリの成分特性を把握した。今後、大量培養が予定されるこの海藻に対し、目的に応じた効率的乾燥の選択指針と選択肢の1つが与えられる。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試試料

現在、室戸岬町高岡地区で行われている海洋深層水を用いたスジアオノリ(吉野川種)の単藻培養(7tタンク培養)のパイロットプラントによる生産物を試験に供した。本スジアオノリにはビタミンB<sub>12</sub>、Cの他、血圧上昇を促進するアンジオテンシンI変換酵素(AGE-I EC)に対する阻害活性や、抗アレルギーの指標とされるヒアルロニダーゼ阻害活性機能を有すると言われており、健康食品分野への利用が期待されている。

通常、市場に流通するスジアオノリのうち乾燥品は、天日乾燥や、冷風乾燥、熱風乾燥によるものが多く、その水分量(乾燥基準)はほぼ一様に8%~12%である。この範囲外では過乾燥によるくずれ、乾燥不良によるビタミン類の崩壊、褐変、香気減少、腐敗等の著しい品質低下を起す。

本実験では電磁波乾燥装置により、スジアオノリをこの水分範囲に調整するための効率的乾燥条件と、品質に与える影響を検討した。

表1 対象種

種	深層水単藻培養スジアオノリ(吉野川種)
前処理	流水中3分間晒し後脱水
初期水分	約1,100%(乾燥基準)
最終水分	約8~12%(乾燥基準)
必要照射時間	25gに対し、約180s(ファン冷却・連続照射)

### 2.2 乾燥装置

#### 2.2.1 装置構成

乾燥装置は試作品(SANYO製EM-650-T,周波

数2,450MHz,出力650W、回転式乾燥籠、モーター、測温用シールドパイプ付)を使用した。被乾燥物中のビタミンや香気成分等の損失を抑えるために、

温度上昇を抑制する事が効果的であると考え、冷却機構と電磁波照射間隔の制御（パルス照射）機能を付与した。

まず冷却機構として、圧縮空気（15℃,20L/min）を送り込むパイプ及び、フロントドア部に電動ファン（送風能力約250L/min）を設置し、前者により被乾燥物を直接局部冷却し、後者により、庫内に滞留する水蒸気を強制排出できるようにした。

パルス照射機能として、マグネトロン回路をトリッドステートタイマを含む別回路（OMRON社H3DE-F,G32A-B,G3PA-240B-VD等で構成）で制

御し、任意のパルス照射が可能な構成とした。

### 2.2.2 電磁波漏洩対策

電磁波の漏洩の程度を簡易的に可視観測するためにRectina（Rectifire+antenna;マイクロ波を直接直流電力に変換する素子）を設置し、漏洩の程度、漏洩部位を定性的に観測した。その結果乾燥工程終盤、シールドパイプ根本付近、装置フロントドア隙間付近からの漏洩が認められた。このため、装置全体を金属製シールド内に収容し、外部への漏洩を遮断した。

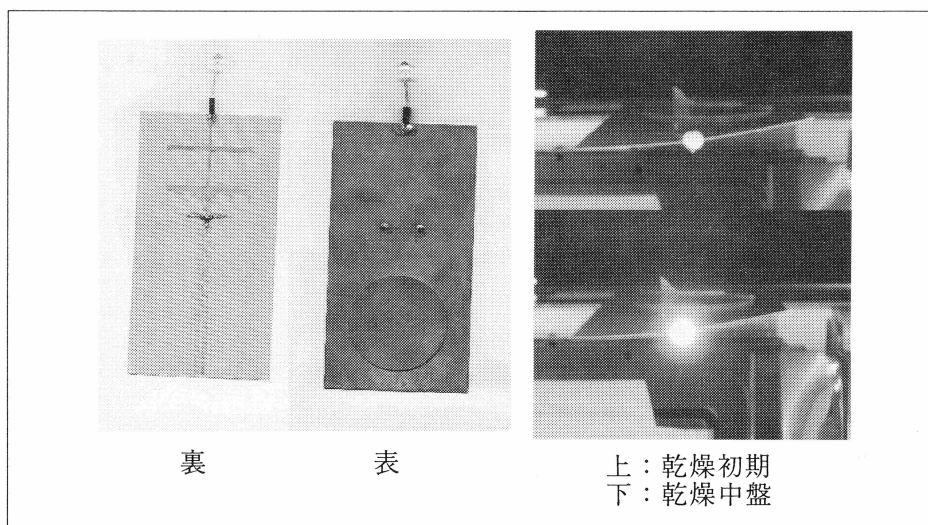


写真1. Rectinna

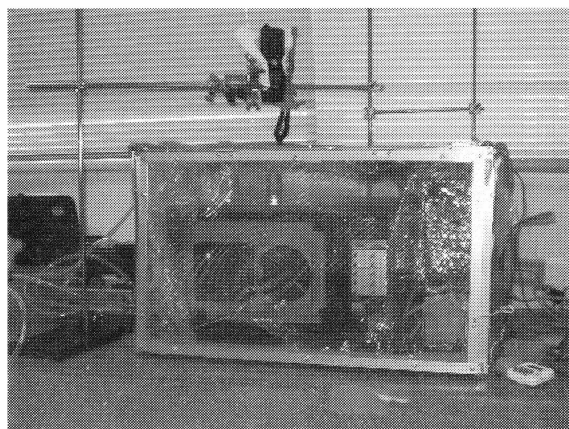


写真2. 装置全景

## 3. 結果および考察

### 3.1 乾燥特性

#### 3.1.1 各冷却方式による乾燥特性

乾燥物の成分に大きく影響を与える要因と思われる温度上昇を抑制する方法について、検討した。被乾燥物表面温度をオプテックス社製放射温度

計 (Thermo-Hunter PT-3LF) により、シールドパイプを通して測定した。25 g の試料に対して圧縮空気による局部冷却、ファンによる冷却等を用いて電磁波照射を行った結果は図1のとおりであり、これらの冷却により最高温度を50℃前後に低

下させる事が可能であった。局部冷却は表面温度低下に効果的な手法であったが、送風量と構造上の問題により、被乾燥物を均一に冷却する事が困難であり、ファン冷却が最も有効な冷却方法であると思われた。

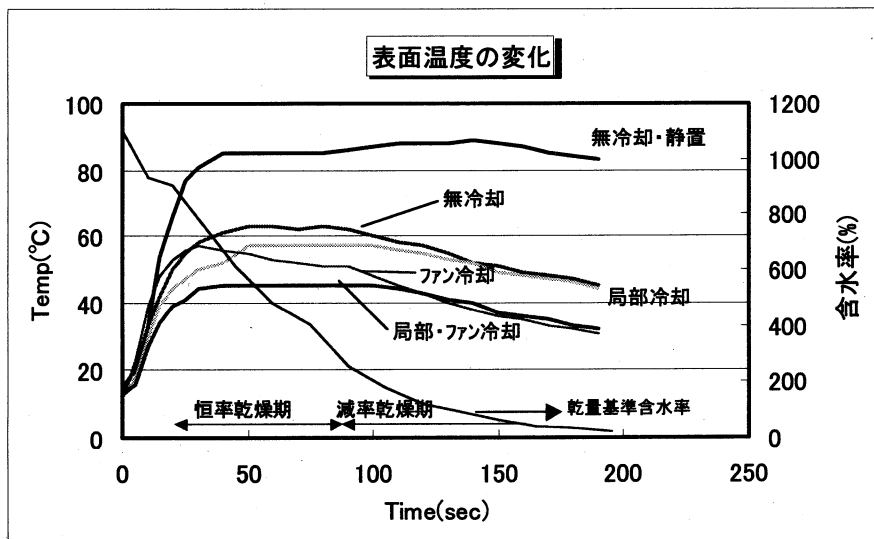


図1 各種冷却方法と表面温度

又、ファン冷却時の重量減を測定したところ、乾燥時間25~80秒間ではほぼ一定割合で重量が減少する期間(恒率乾燥期間)の後、緩やかに重量が減少する期間(減率乾燥期間)が見られた。Rectinnaによる電磁波漏洩を目視観察したところ、明らかに減率乾燥期間での漏洩が顕著に見られた。この事から、この期間では被乾燥物中の水分が減少したために、一定出力で電磁波を照射し続ける装置に対し負荷が減少し、外部への漏洩量が増大した事が推測される。

一方、含水率が極度に低く電磁波の外部への漏洩が多い場合でも被照射物は電磁波を吸収し、ある種の成分には影響を与える。予備実験で目的含水率に到達するのに必要な電磁波照射時間である180s間電磁波を照射した際のVitaminC(※3.2.1参照)の濃度に対し、1.5,2倍の時間過剰に電磁波を照射した試料のVitaminCの濃度比の化を図2に示す。冷却方法によって差はあるが、過剰照射によるVitaminCの減少を示しており、乾燥規模や装置条件など、極端な場合は乾燥効率の悪い減率乾燥期を別の乾燥法に置き換える事も視野に入れる

必要がある。

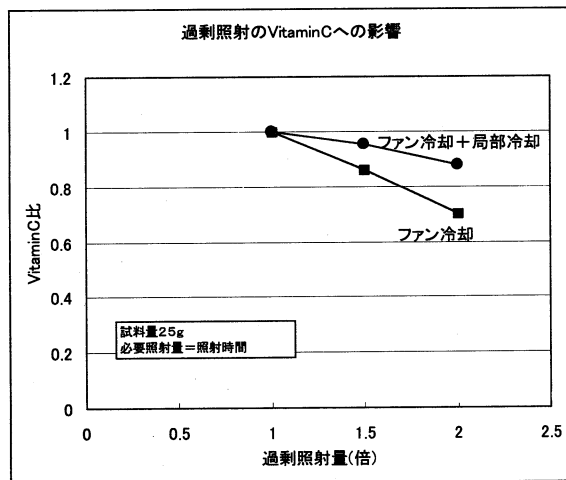


図2 過剰照射の影響

### 3.1.2 選択的吸収による均一乾燥

一般に被照射体の電磁波吸収量は、誘電体損失角  $\tan \delta$  と比誘電率  $\epsilon_r$  からなる損失係数に依存すると言われる。スジアオノリの損失係数の値は定かではないが、先の結果から水の値とは大きく異なる事が推測される。

ここで、予め電磁波乾燥により得られた乾燥試料の一定量と湿潤状態の試料に対し、同時に電磁波を照射し、表面温度の最高値と最低値、VitaminCの値を測定した結果を図3に示す。

図中、最高温度は湿潤状態の部位の温度を、最低温度は乾燥状態の部位の温度を意味し、ばらつきのある表面温度は照射時間の経過と共に収束する傾向にある。又、湿潤部のVitaminC濃度は温度上昇に伴い乾燥品部と比較して著しく損なわれ

ている事から、湿潤部へ電磁波が選択的に吸収されている事がわかる。

海洋深層水で単藻培養しているスジアオノリは浮遊培養法にて行われているためその根部分の密度が高く、乾きにくい傾向がある。上の結果から、電磁波乾燥ではVitaminCが多少減少するものの、均一に乾燥させるには良い方法であると考えられる。

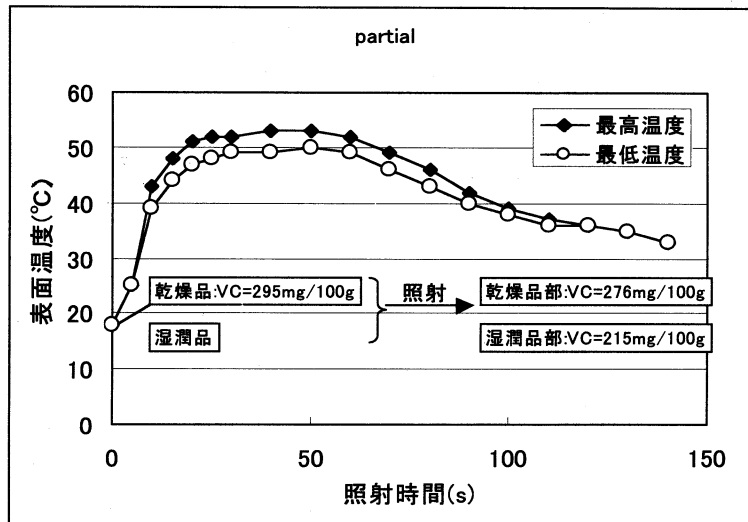


図3 選択加熱効果

### 3.1.3 パルス照射方式の乾燥特性

更に被乾燥体の温度上昇を低減させる方法として、パルス照射を検討した。

先の結果からファンによる冷却を行いながら、種々のパルスの照射サイクルで電磁波を照射した。

電磁波発生装置では、照射を開始してからすぐには出力は上がらない。そこで図4に示す様に、予め既知量の水を負荷とした連続照射による温度上昇曲線を描きこれにより、装置の大まかな不感時間を2.7sと見積もった。この不感時間と、各照射サイクルのON Timeから有効照射時間を積算し、必要照射時間180sに相当する時間、照射した。

パルスのOff Timeを15sに固定し、ON Timeを5, 7.5, 10, 15sの4段階に設定し、必要照射時間電磁波を照射した結果を図5に示す。

図より、パルス Off時には試料表面が十分冷却されている事がわかる。また、On Time7.5, 10sで、

最高温度は45°C程度に低下する。一方、On Time 5sでは最高温度は35°C程度まで低下するが、各サイクルの有効時間が短く、電磁波乾燥法の最大の利点である「短時間で乾燥」のメリットが活かされない。

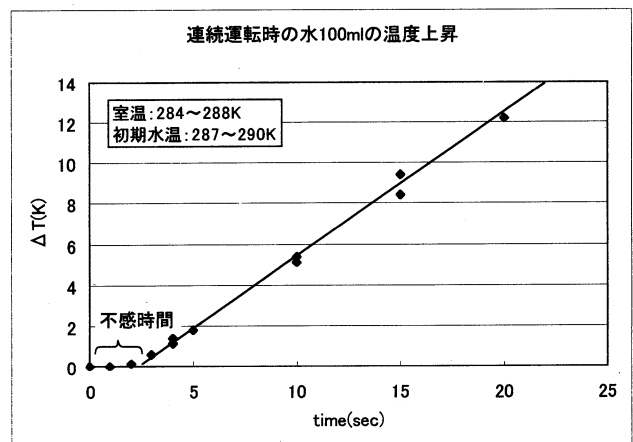


図4 不感時間

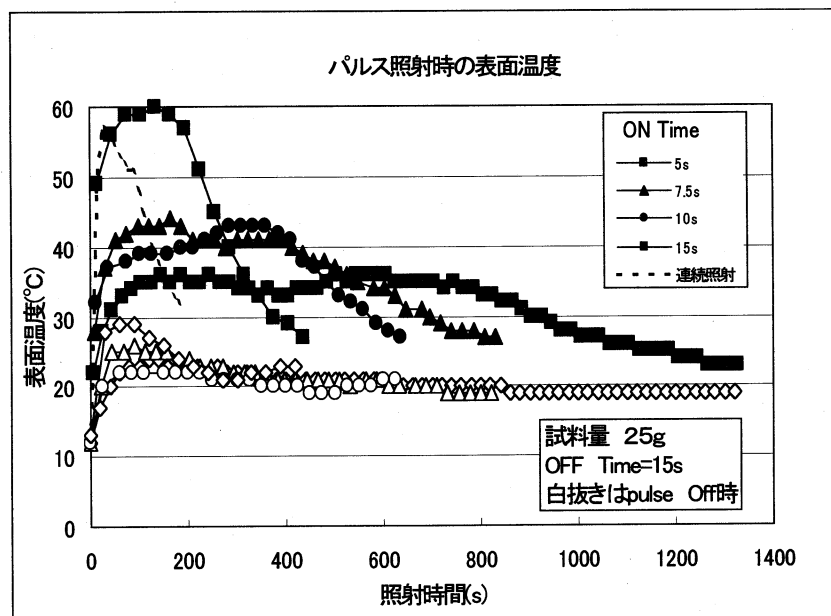


図5 パルス照射時の温度特性

### 3.2 乾燥品の品質評価

#### 3.2.1 品質評価項目

乾燥体の品質を評価するために、外観評価として色度解析、食品栄養成分としてVitaminB<sub>12</sub>、VitaminCを定量分析、香り成分としてDMS（ジメチルスルフィド）を比較分析、生理活性機能として血圧上昇抑制の指標となるACE-I変換酵素

阻害活性、血液凝固防止の指標となるThrombin阻害活性、抗アレルギーの指標となるヒアルロニダーゼ阻害活性を測定した。

#### 3.2.2 測定方法

各項目の測定・分析方法は表2のとおり。

表2 分析項目と測定・分析方法

項目	分析手法
色度	色差計にて測定
Vitamin B <sub>12</sub>	100℃湯前後遠心分離、上澄みをAscorbateOxidaseでVitaminC除去後、競合酵素免疫測定法（RIDASCREEN FAST VitaminB <sub>12</sub> ）にて測定。
Vitamin C	ホモジナイズ後メタリン酸で抽出。徐タンパク後、VitaminC Meter（TOA VC-110）にて測定
香り成分	試料0.1gに純水5ml添加。ヘッドスペースGC-MSにて測定（HS部80℃20分,DMS（ジメチルスルフィド）成分を面積値で比較
生理活性測定前処理	Thermolysin加水分解後、限外濾過によりMW10,000で分画、区画毎にin Vitro測定
ACE-I変換酵素阻害活性	Hip-His-Leu,ウサギ肺由来ACE使用。試料液と反応後、逆相HPLCにて波長228nmで測定。面積値より阻害率を算出。
Thrombin阻害活性	N-p-Tosyl-GPR-p-NA,Thrombinを反応後、HPLCにて波長410nmで測定。面積値より阻害率を算出。
ヒアルロニダーゼ阻害活性	ヒアルロン酸,ヒアルロニダーゼ反応後、585nmにける吸光度測定によりN-アセチルグルコサミンを定量し、阻害率を算出

3.2.3 電気出力、乾燥時間、温度と乾燥藻類の品質との関係

3.2.3.1 各冷却方式による品質特性

各冷却方式による VitaminC, B<sub>12</sub>, DMS の濃度比較データを図 6 に示す。(B<sub>12</sub> は 3 点のみ測定) 先の

図 1 を考慮すると、電磁波の照射、表面温度の上昇に伴い、VitaminC と香り成分は減少し、冷却効果がこれらの成分が保持に有効である事がわかる。しかし、VitaminB<sub>12</sub> は逆の傾向が見られた。

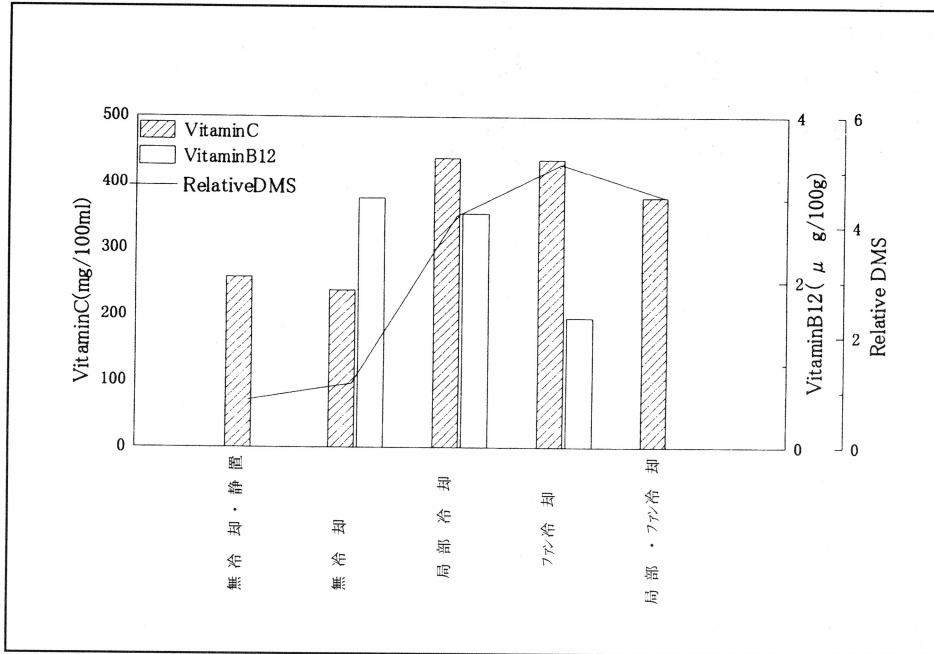


図 6 各冷却条件下での品質変化

また、必要照射量 180s の条件下で 270s, 360s の過剰照射を行った際の同様のデータを図 7 に示す。

これにより、温度上昇が伴わなくても過剰の電磁波照射により熱影響と同様の挙動を示す事がわ

かる。VitaminC, DMS は、熱による分解や揮散が考えられ、VitaminB<sub>12</sub> については、VitaminB<sub>12</sub> を酸化分解する物質およびその機能が熱・電磁波により分解・抑制された可能性がある。

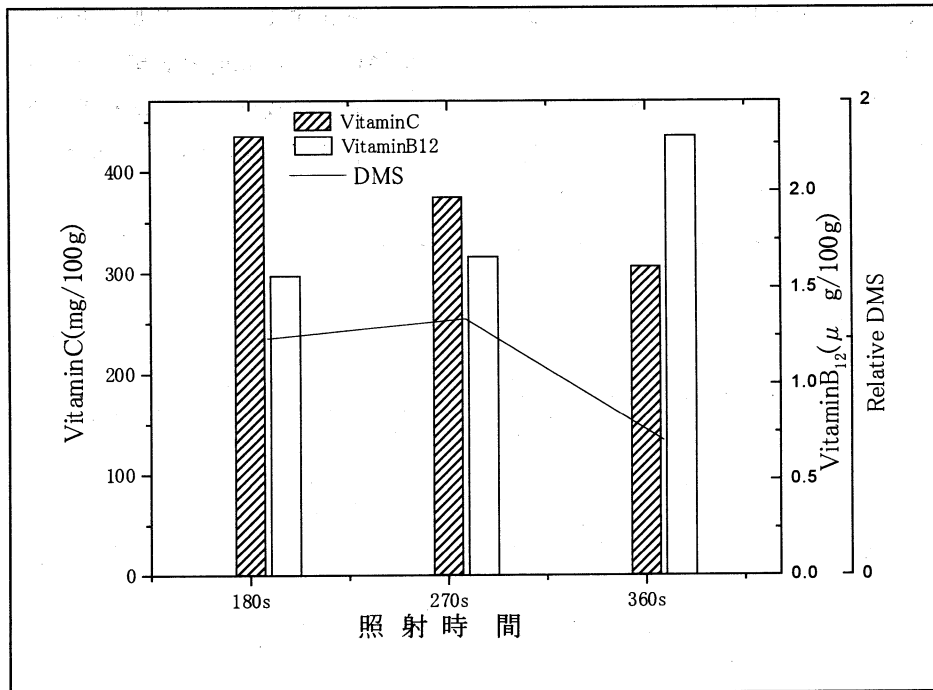


図7 過剰照射時の品質

### 3.2.3.2 パルス照射条件最適化

先のパルス照射により乾燥特性を検討した際の乾燥物について、上と同様に品質特性を検討した。各成分は、熱影響および過剰照射による電磁波

の影響と同様の傾向を示した。

経済性、成分の保持等を勘案し、OnTime 7.5~10sec程度が適当な照射時間であると思われる。

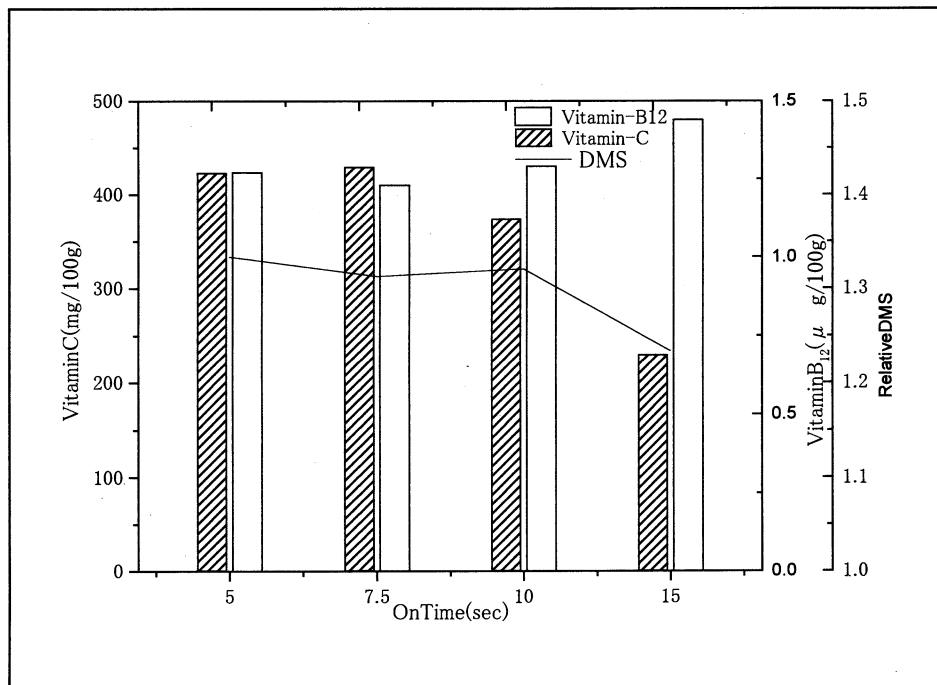


図8 パルス照射の品質への影響

### 3.2.4 その他の処理方法の検討

#### 3.2.4.1 品質分析結果の比較

現在行われている乾燥方法のうち5種類の方法(同一種のスジアオノリ)、参考に天然産天日乾燥スジアオノリ(別種)との比較を行った結果を図9に示す

これまでに考察された熱、電磁波の他、紫外線が成分組成に与えていると思われる特徴も、各乾燥法に見られた。こうした中、一番バランスの取れた乾燥法は冷風乾燥であった。又、パルス乾燥は、VitaminC含有率が高いという特徴が見られた。

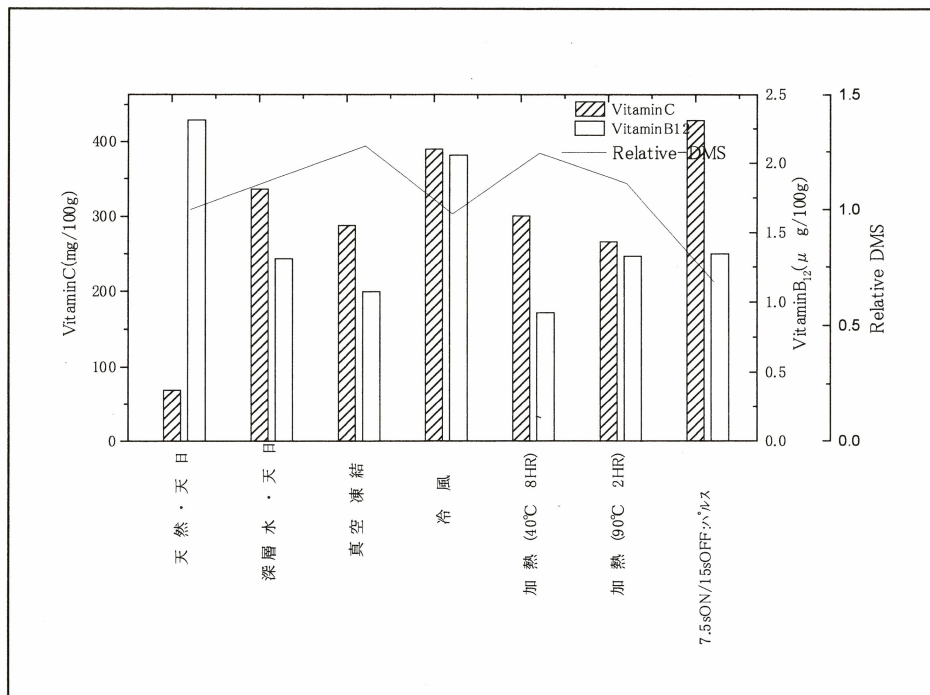


図9 各種乾燥法の比較

また、得られた乾燥物を写真3に、色差計によるその色合いの比較結果を図10、11に示す。



写真3 乾燥物



写真3、図10より、「やや濃い緑～黄緑色」で、やや黄色の要素が含まれる天然物と真空凍結乾燥以外はバラツキは少なく、冷風乾燥品を標準色として $\Delta E^*a$  bは、最大で5程度である。

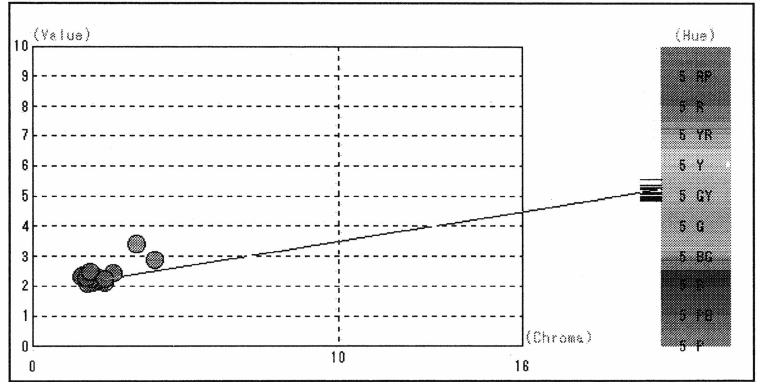


図10 色度/彩度

### 3.2.4.2 in vitroでの生理活性作用測定結果について

現在行われている乾燥方法のうち3種類の方法（同一種のスジアオノリ）、参考に天然産天日乾燥スジアオノリ（別種）を連続照射による乾燥品、パルス照射による乾燥品との比較を行った。

ACE-I変換酵素阻害活性を図12に示す。いずれもほぼ同様の阻害活性を示しており、電磁波照射による阻害活性の減少は見られない。

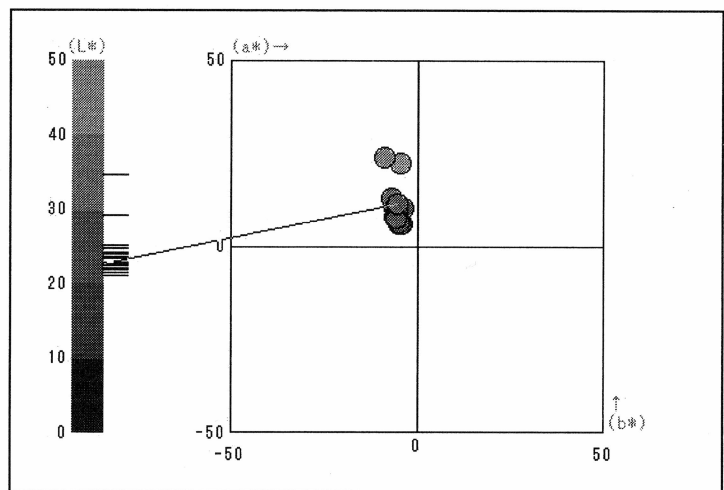


図11 L\*a\*b\*表色系色度

Thrombin阻害活性を図13に示す。MW 10,000以上の区分では、すべて同様にマイナスの阻害活性を示した。MW10,000以下の区分では、深層水産の乾燥品はすべて阻害活性を示した。電磁波照射による乾燥品は、若干阻害能の低下が見られるが、パルス照射によるものは、改善が見られた。

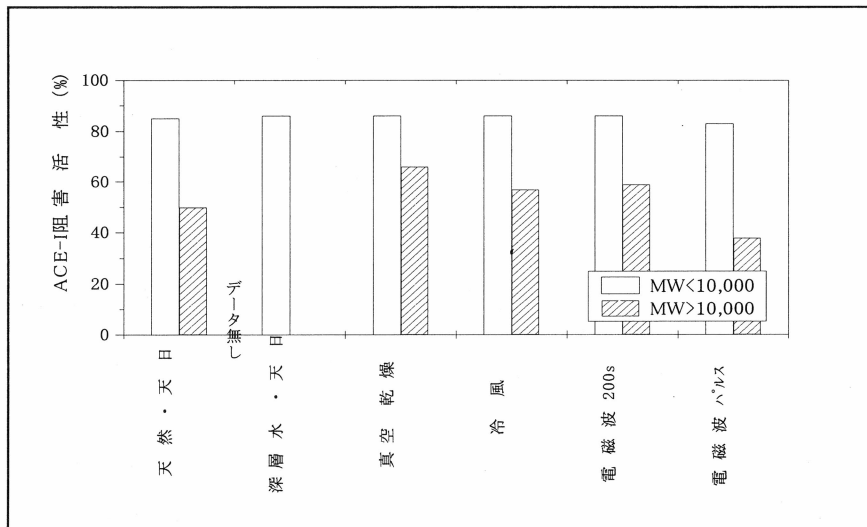


図12 ACE-I 変換酵素阻害活性

#### 4. まとめ

##### 電磁波乾燥法について

- ・電磁波乾燥機により、短時間に処理できる
- ・パルス乾燥法により、被乾燥物の乾燥温度が制御できる。
- ・Vitamin-C, 香気成分の損失は照射時間の長さに依存する。
- ・生理活性作用はThrombin阻害活性については電磁波照射により若干の減少が見られるものの、ACE-I阻害活性、ヒアルロニダーゼ阻害活性については損失は見られない。

##### パルス乾燥法と他の乾燥法と比較して

- ・熱源、紫外線を用いないためVitamin-Cの損失が少ない。
- ・香気成分は損なわれやすい

以上の事を考慮して、電磁波乾燥機、とりわけパルス乾燥法による用途に応じた乾燥もしくは他の乾燥法と組み合わせた乾燥は有効であると考えます。

※他の乾燥法との組み合わせを考える時、各乾燥法のどの過程でどの成分の損失・生成が行われているかを把握する必要がある。

#### 5. 謝辞

本研究を行うにあたり、分析にご協力いただいた高知県工業技術センター食品加工部、試料提供にご協力いただいた高岡漁協に感謝いたします。

本研究は(財)高知県産業振興センターから受託した「平成13、14年地域研究促進拠点支援事業(RSP)」の一環として行われたものである。

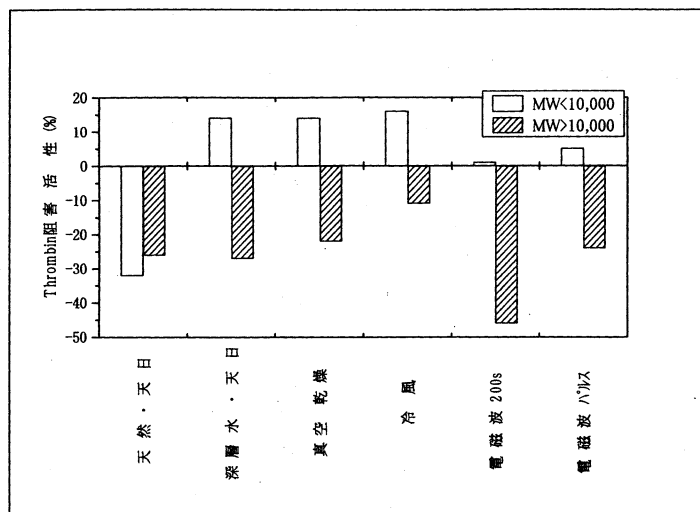


図13 Thrombin阻害活性

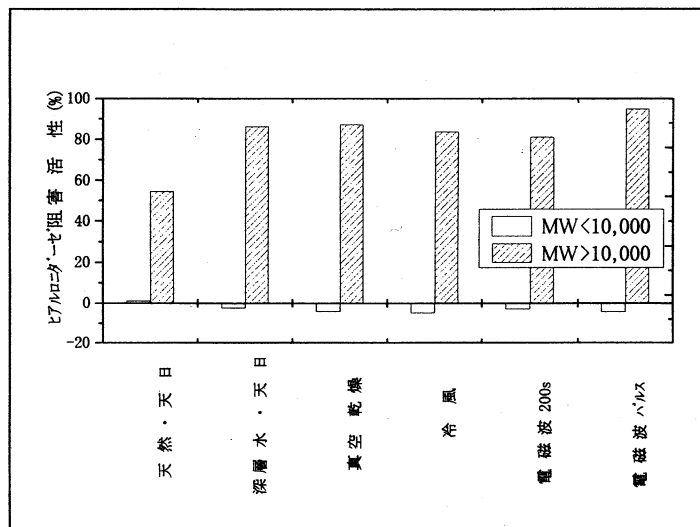


図14 ヒアルロニダーゼ阻害活性