

## 8. マングローブの耐塩性に関する研究 (No.8912)

矢吹 萬壽 (大阪府立大学)

植物の耐塩性を高めるための基礎的知見を得ることを目的とし、マングローブを供試植物として、その耐塩性の生理生態学的メカニズムを解明するために、沖縄県西表島の後良(しいら)川河口において、1989年4月と12月に調査を行った。

河口から河川上流に向って、塩分濃度の異なる土壌で生育するヒルギダマシ、マヤブシキ、ヤエヤマヒルギおよびオヒルギについて、その耐塩性の差が気根のガス交換機能の違いによるものと考え、潮位および日射量の変化にともなう気根内の $O_2$ 濃度の変化を調べることにより、気根のガス交換機能について検討した。

その結果、各樹種とも干潮時に気根が露出している時、その内部の $O_2$ 濃度は大気中の値21%にほぼ等しかったが、潮位が高くなり気根が水没すると、 $O_2$ 濃度は徐々に低下した。河口の比較的塩分濃度の高い土壌で生育するヒルギダマシおよびマヤブシキでは、気根表層に葉緑体があり光合成を行って $O_2$ を生成するため、日中、気根水没後に気根を遮光すると $O_2$ 濃度は急激に低下し、1時間後に約3.5%低い値になった。遮光を解除すると $O_2$ 濃度は上昇し、40分後には遮光前とほぼ等しい値まで回復した。これら2種より上流の塩分濃度がより低い土壌で生育するヤエヤマヒルギやオヒルギでは、気根内の $O_2$ 濃度に対する日射量の影響はほとんど見られなかった。

以上のように、ヒルギダマシ、マヤブシキの気根は光合成により $O_2$ を生成でき、とくに気根が水没した時、根へ $O_2$ を供給する重要な働きをしていることが明らかとなった。したがって、水分を活発に吸収しなければならない日中には、潮の干満に関係なく気根から $O_2$ が供給されるこれらの種が、高い塩分濃度の土壌でも旺盛に生育できるものと考えられる。すなわち、根に $O_2$ が十分に供給され、根の呼吸が活発に行われることが、耐塩性に大きく関与すると考えられる。



## 7. マングローブの耐塩性に関する研究 (No.8912)

矢吹 萬壽 (大阪府立大学)

### 1. 研究目的

現在、地球上の多くの地域で土壌表面の塩類集積により植物の生育が制限されてきている。このことは、農業生産にとって重要な問題であるのみならず、砂漠化の進行にも関係する問題である。わが国でも、施設園芸において同様な塩類集積による収量低下が報告されており、作物の生産性を向上させるためには、作物の耐塩性を高める必要がある。

また最近、逆浸透法により海水から淡水を作り出す技術が発達してきており、微量の塩分を含む水ならば比較的容易に低コストで生産可能である。したがって作物の耐塩性を高めることができれば、砂漠のような乾燥地域の沿岸部、あるいは農業用水として利用できる淡水の少ない離島などの未利用地において、海水から作った低塩分濃度の水を農業生産に用いることも可能となる。

本研究は、植物の耐塩性を高めるための基礎的知見を得るため、マングローブを供試植物として、耐塩性の生理生態学的メカニズムを解明することを目的として行ったものである。

マングローブは、熱帯および亜熱帯の河口部の汽水域に生育する植物群の総称である。その種類は世界全体で約19科40属にわたっている。マングローブは塩分濃度が高く、その上通気性の著しく悪い土壌に生育している。そのため多くの種は、気根と呼ばれる特殊な器官を持っており、その機能として気根表面にある皮目を通して大気中の $O_2$ を根に拡散させることが、従来から言われてきた(例えば、Sfholanderら、1955)。著者らはこれまでマングローブ気根の機能について研究を行い、上述のガス交換機能に加えて、数種のマングローブでは、根の呼吸で発生した $CO_2$ が気根表面での光合成

により同化され、その時に発生する $O_2$ が再び根に拡散し、根の呼吸に使われるという、ガスの循環再利用機能があることを発見した(矢吹ら、1990a, 1990b)。このような気根の機能は、通気性の悪い泥中での根の呼吸に大きく貢献しており、高濃度の塩類を含む土壌で生育するマングローブの耐塩性に寄与していることが考えられる。

マングローブの各樹種は河口沿岸部から河川上流に向って、生育場所が樹種ごとに明確に異なっている。したがって各樹種が群落を形成する場所の土壌環境は、樹種により大きく異なる(久馬ら、1988)。土壌環境の中でも、とくに塩分濃度については、低濃度から高濃度になるに伴い、一般にオヒルギ、ヤエヤマヒルギ、ヒルギダマシ、マヤブシキの順に遷移していることから、この順に耐塩性が高くなるものと考えられる。

これら4種のマングローブはそれぞれ形態の異なる気根を持っており、ガス交換の機能も異なる。そこで本研究では、上記の耐塩性の差は、気根のガス交換機能の違いによるものと考え、潮位および日射量の変化にともなう気根内の $O_2$ 濃度の変化を調べることにより、4樹種の気根のガス交換機能について検討した。

## 2. 研究方法

### 2.1 測定場所および時期

北緯 $24^{\circ} 18'$ 、東経 $123^{\circ} 55'$ に位置する沖縄県西表島の後良(しいら)川河口において、1989年4月と12月に測定を行った。

### 2.2 供試植物

#### 2.2.1 根の $O_2$ 吸収速度

まずマングローブの根の呼吸に用いられる $O_2$ の多くが、植物体内を通過して地上部から送られることを確認するため、根がそのまわりの水中から吸収する $O_2$ 量を調べた。供試植物としてマヤブシキ(*Sonneratia alba*)およびヤエヤマヒルギ(*Rhizophora stylosa*)の幼樹を用いた。マヤブシキは樹高約30cm、葉数35枚、ヤエヤマヒルギは樹高50cm、葉数7枚であった。また対照として、播種後60日間水耕栽培した草丈約50cm、葉数14枚のキュウリ(*Cucumis sativas* L. 品種、山東四葉)の根の $O_2$ 吸収速度も測定した。

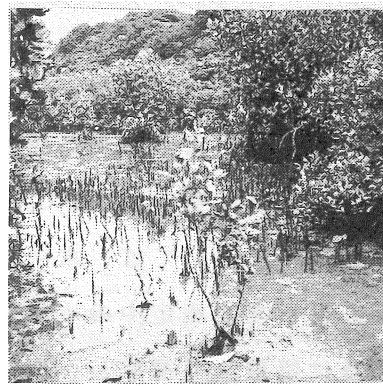
## 2. 2. 2 気根内の $O_2$ 濃度

測定対象のマングローブとして、マヤブシキ、ヒルギダマシ (*Avicennia marina*)、ヤエヤマヒルギおよびオヒルギ (*Bruguiera gymnorrhiza*) を用いた。

Fig. 1 a、bに示すように、マヤブシキとヒルギダマシは地表面から突き出た直立気根を持っている。それら気根の表層には葉緑体があり、光合成を活発に行っている。一例として、ヒルギダマシの気根断面の写真をFig. 2に示す。またヤエヤマヒルギは幹から伸びた支柱根を持ち (Fig. 1 c)、気根の表層には葉緑体があるが、その光合成速度は前2種ほど大きくはない。一



(a) *Sonneratia alba*



(b) *Avicennia marina*



(c) *Rhizophora stylosa*



(d) *Bruguiera gymnorrhiza*

Fig. 1  
Photographs of 4 mangrove species.

方オヒルギは地表面上に屈曲根を出しているが ( Fig. 1 d )、気根表層には葉緑体はなく、光合成は行われていない。またマヤブシキ以外の3種の気根表面には、大気とガス交換を行うための皮目がある。

## 2. 3 測定方法

### 2. 3. 1 根の $O_2$ 吸収速度

根による  $O_2$  吸収量を求めるため、汽水を充たした容量 2 l のプラスチックバッグに根部を

入れ、密閉した後、水中の溶存酸素濃度の時間変化を調べた。溶存酸素の測定には酸素分析計 ( 東レエンジニアリング製、モデル LC-700E ) を用いた。ヤエヤマヒルギについては、水中に NaCl を添加して、塩分濃度を高めた状態での測定も行った。測定中の水温は、23~26°C であった。供試体の根を傷つけないように留意して採取し、測定後に植え戻した。

### 2. 3. 2 気根内の $O_2$ 濃度

気根内の  $O_2$  濃度測定のため、ヒルギダマシおよびマヤブシキについては、Fig. 3 a に示すように直立気根の上端から 1~2 cm を切除し、その切り口をシリコンチューブに差し込み、その一端に  $O_2$  センサーを取り付けた。またヤエ

ヤマヒルギおよびオヒルギについては、気根の海綿状組織に内径 3 mm、外径 4 mm、長さ 5 mm のガラス管を差し込み、その一端に  $O_2$  センサー ( 日本電池製、KE-50 ) を取り付けた ( Fig. 3 b, c )。シリコンチューブあるいはガラス管と気根および  $O_2$  センサーとの接触部はシリコン接着剤で固定し、外部空気が  $O_2$  センサー感部へ進入するのを防いだ。

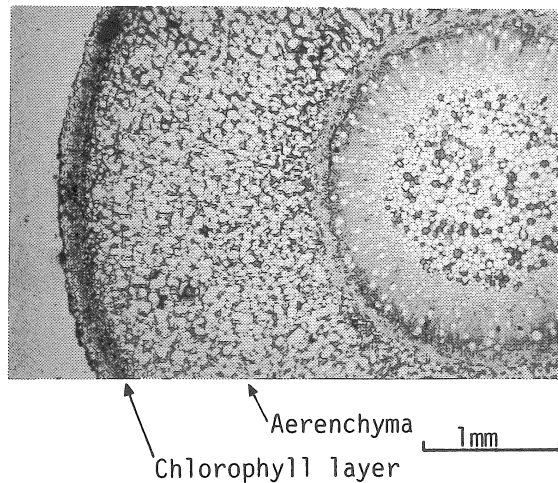


Fig. 2  
Cross section of a pneumatophore of *Avicennia marina*.

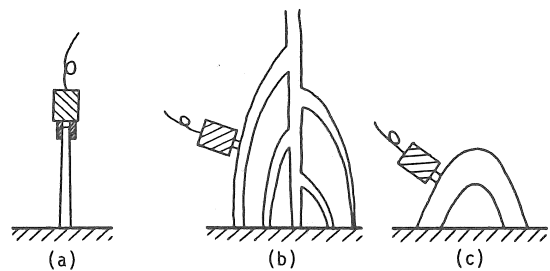


Fig. 3  
Measurements of the oxygen concentration in pneumatophores.

### 3. 研究結果

#### 3.1 根のO<sub>2</sub> 吸収速度

Fig. 4に、根を入れた容器を閉鎖した後の溶存酸素濃度の変化を示す。対照として用いたキュウリでは、水温26°Cでの飽和値に近い初期値7.3 ppmから25分後には0.2 ppmに低下した。グラフの直線部分から算定した個体あたりのO<sub>2</sub> 吸収速度は、36 mg/hであった。

一方、マングローブの根のO<sub>2</sub> 吸収速度は、マヤブシキおよびヤエヤマヒルギとも約0.5 mg/hであった。またヤエヤマヒルギでは、水の塩分濃度を2.2%から4.0%に高めてもO<sub>2</sub> 吸収速度はほとんど変化しなかった。

以上のように、マングローブの根はそのまわりからO<sub>2</sub>をほとんど吸収しておらず、このことは、根の呼吸に必要なO<sub>2</sub>が幹あるいは気根を通して供給されることを示唆している。したがって幹から離れた位置にある根の呼吸にとっては、気根から送られてくるO<sub>2</sub>が重要であると考えら

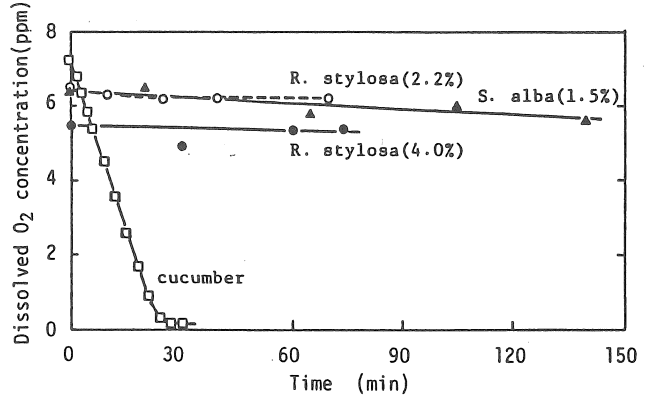


Fig. 4 Changes in the dissolved oxygen absorbed by the roots. Salinity concentration are shown in the parentheses.

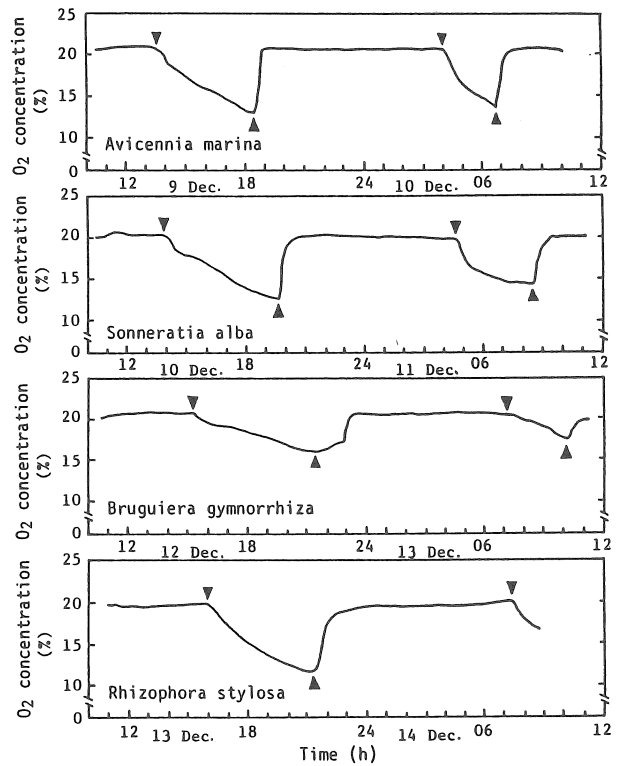


Fig. 5 Diurnal changes in the oxygen concentration in pneumatophores. ▼: The pneumatophore submerged. ▲: The pneumatophore surfaced.

れる。すなわち、マングローブ各樹種の気根の $O_2$  輸送機能の違いが、根の呼吸活性を左右する一要因であると考えられる。

### 3. 2 気根内の $O_2$ 濃度

Fig.5 にマングローブ4 樹種の気根内 $O_2$  濃度の日変化を示す。干潮および満潮は1日に2回ずつあり、その時刻は1日に約1時間遅れた。そのため満潮時に気根内 $O_2$  濃度が低下、

あるいは干潮時に $O_2$  濃度が上昇する時刻は、ヒルギダマシ、マヤブシキ、オヒルギ、ヤエヤマヒルギの順に遅くなった。

各気根とも干潮時に気根が露出している場合、その内部の $O_2$  濃度は大気中の値21%にほぼ等しくなった。しかし潮位が高くなり気根が水没し始めると、 $O_2$  濃度は徐々に低下し、水没後5時間目には12~16%となった。なおオヒルギ気根の $O_2$  濃度の低下量が他の3種より少なかったが、ここで用いたオヒルギ気根は比較的若いものであったので、気根の下にある根が少なく、根の呼吸で消費される $O_2$  量が少なかったためと考えられる。

干潮となり気根が露出すると、気根内の $O_2$  濃度は上昇した。その上昇速度はヒルギダマシが最も急激であり、マヤブシキ、ヤエヤマヒルギの順に緩やかになり、オヒルギでは比較的緩慢な上昇を示

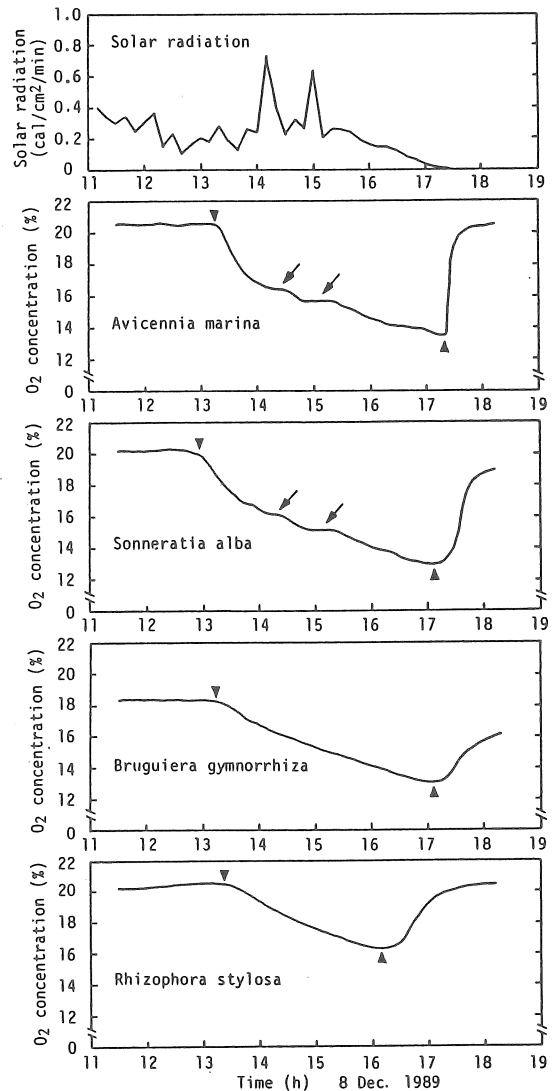


Fig.6  
Effects of solar radiation on the oxygen concentration in pneumatophores.  
▼:The pneumatophore submerged.  
▲:The pneumatophore surfaced.



した。

次に、潮が満ちて気根が水没してから干潮になり再び露出するまでの間、気根内 $O_2$ 濃度の推移と日射量の変化との関係を調べた。その結果をFig. 6に示す。供試した気根のあった場所の高度が数cm異なるため、気根が水没する時刻あるいは気根が露出する時刻がやや異なっている。ヤエヤマヒルギおよびオヒルギの場合、気根が水没すると気根内 $O_2$ 濃度は単調に低下した。一方ヒルギダマシおよびマヤブシキでは、14時から14時30分および15時から15時30分にかけて日射量が増加したことにより、その間だけ気根内 $O_2$ 濃度の低下は止まり、一定値を維持した(図中、矢印の部分)。この現象は、ヒルギダマシおよびマヤブシキの気根が、日中の水没時にも光合成により $O_2$ を生成していることを示すものである。

Fig. 7は、気根内部の $O_2$ 濃度と日射量との関係をさらに詳しく調べた実験の結果である。この日は晴天であり、日射量は13時には $1.0 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$ に達した。ヒルギダマシ、マヤブシキとも気根内部の $O_2$ 濃度はほぼ同様な推移を示した。干潮時にはそれぞれの気根内部の $O_2$ 濃度は20.4%であったが、12時ごろから気根が水没し始めると、その値は17.2~17.5%まで低下し、その後一定値に達した。13時に気根をアルミフویلで覆って遮光すると、 $O_2$ 濃度は急激に低下し始め、1時間で約3.5%低下した。14時10分に遮光を解除すると、 $O_2$ 濃度は上昇を始め、約40分後には遮光前とほぼ等しい値まで回復した。なお図中の破線は、遮光しなかった場合の気根内 $O_2$ 濃度

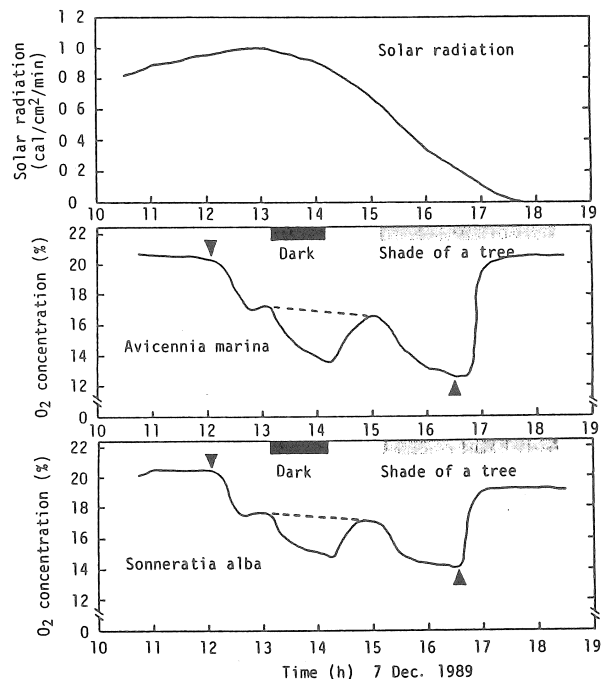


Fig. 7

Effects of solar radiation on the oxygen concentration in submerged pneumatophores.

▼: The pneumatophore submerged.

▲: The pneumatophore surfaced.

の推定値を示す。その後15時10～20分に気根が樹の陰に入り直達日射が遮られたため、 $O_2$ 濃度は再び低下を始めた。さらに夕刻になって全天日射量が低下したことにより、16時30分には $O_2$ 濃度はヒルギダマシで12.5%、ヤエヤマヒルギで14%まで低下した。しかし潮が引いて気根が露出すると $O_2$ 濃度は急激に上昇した。

これらの結果から、気根に葉緑体を持つヒルギダマシやマヤブシキでは、満潮時に気根が水没しても、光が当っておれば光合成により $O_2$ を生成することが明らかとなった。

#### 4. 考察

本研究の結果から、(1) マングローブの根の呼吸は、地上部あるいは気根から輸送される $O_2$ に大きく依存していること、(2) ヒルギダマシ、マヤブシキの気根は光合成により $O_2$ を生成でき、とくに気根が水没した時に根へ $O_2$ を供給する重要な働きをしていることが明らかとなった。

このようにヒルギダマシおよびマヤブシキ気根による根への $O_2$ 供給機能は、オヒルギやヤエヤマヒルギより優れていると考えられる。高濃度の塩類を含む土壌中にある根は、水分を吸収するために多くのエネルギーを必要とする。そのエネルギーは呼吸作用により得られるので、根は常に呼吸のための $O_2$ の供給を必要とする。したがって水分を活発に吸収しなければならない日中には、潮の干満に関係なく気根から $O_2$ が供給されるヒルギダマシやマヤブシキが、比較的高い塩分濃度の土壌でも旺盛に生育できるものと考えられる。すなわち、根に $O_2$ が十分に供給され、根の呼吸が活発に行われることが、耐塩性に大きく関与していると考えられる。

#### 5. 今後の課題

本研究では、気根による根への $O_2$ 供給機能がマングローブの種により異なり、そのことが耐塩性に関係することを示唆する結果が得られた。今後、気根から根への $O_2$ 供給速度が増加することにより耐塩性が増すことを定量的に明らかにするため、以下のことについて実験を行う必要がある。

(1) 気根の $O_2$ 供給能力と土壌の塩分濃度との関係を明らかにするため、

塩分濃度の異なる場所に生育するマングローブについて、気根から根に輸送される $O_2$ 量を求める。

- (2) さらに気根の $O_2$ 供給能力と根の吸水量および塩分濃度との関係を明らかにするため、異なる塩分濃度下で、気根による根への $O_2$ 供給量の変化にともなう地上部の蒸散速度の変化を調べる。
- (3) また、マングローブ以外にこれまでに知られている耐塩性植物について、地上部から根への $O_2$ 輸送量を求め、耐塩性との関係を明らかにする。

#### 謝辞

本研究を行うため、琉球大学農学部付属熱帯農学研究施設を利用した。同施設長、星野教授をはじめ、教職員の方々に感謝の意を表す。また、現場での測定に協力していただいた大阪府立大学農学研究科学生、谷晃氏にも感謝の意を表す。

#### 引用文献

- (1) 久馬一剛・西村和雄・平井英明・舟川晋也、1988：マングローブ林下の土壌／堆積物の特性、(「環境科学」研究報告集、マングローブ生態系の動態と保全に関する基礎研究、丸茂隆三編)、123-147.
- (2) Sholander P.F., L.Van Dan and S.I. Sholander、1955：Gas exchange in the roots of mangroves, Amer. J. Bot., 42: 92-98
- (3) 矢吹万寿・北宅善昭・杉二郎、1990a：マングローブ気根のガス交換機能に関する研究(1)、生物環境調節、28, (3), 95-98
- (4) 矢吹万寿・北宅善昭・杉二郎、1990b：マングローブ気根のガス交換機能に関する研究(2)、生物環境調節、28, (3), 99-102

## Study on the Salinity Tolerance of Mangroves

K. Yabuki, I. Aiga\*, M. Kiyota\*,  
Y. Kitaya\*, T. Uewada\* and T. Hirano\*

University of Osaka Prefecture

\* College of Agriculture, University of Osaka Prefecture

### Summary

This survey was conducted in Iriomote Island, Okinawa Prefecture to collect basic data of the salinity tolerance mechanism of mangrove plants. We tried to explain such mechanism from a standpoint of the oxygen supply system from the pneumatophores to the roots through the aerenchyma passages.

Two groups of mangrove species were investigated. One group, which contains Sonneratia alba and Avicennia marina, has a higher salinity tolerance in comparison to the other group, which contains Rhizophora stylosa and Bruguiera gymnorhiza. In addition, the pneumatophores of S. alba and A. marina have chloroplasts in their surface layers and oxygen produced in photosynthetic reaction is transported to the roots in the subsoil. R. stylosa is similar to these 2 species but the photosynthetic activity is very low. B. gymnorhiza has no chloroplasts in the pneumatophores and there is no photosynthetic reaction. In order to investigate that this difference in the oxygen supply systems of the pneumatophores between these two groups of mangrove species is closely related to the difference of the salinity tolerance, the change of oxygen concentration in the pneumatophores which accompanied the changes of the tidal level and the solar radiation was measured.

As a result, the oxygen concentration in the pneumatophores of these 4 mangrove species decreased when the pneumatophores were submerged. The oxygen concentration of the submerged pneumatophores of S. alba and A. marina were higher than those of R. stylosa and B. gymnorhiza under the higher solar radiation because of the photosynthetic reaction. Hence A. marina and S. alba could transport oxygen to the roots during day time even at high tide. This fact shows that a high activity of root respiration is maintained during day time regardless of the tidal level and that it may contribute to the salinity tolerance of the roots in the salty and muddy soil.