

## 造林資材としてみたコンテナ苗の特質

東京大学大学院農学生命科学研究科  
丹下 健

1

## お話しする内容

- 植物の物質生産と水
- 裸根苗の植栽当年の光合成の規定要因
- コンテナ苗の得失
- 苗木の物質生産・成長の季節変化
- 植栽苗の初期成長を良くするためには

2

## 苗木の物質生産

- 植物の物質生産

葉への十分な水の供給が必須である。

多くの水は、気孔を開くために使われる。

生産量は「葉の生産効率」と「葉量」によって決まる。

$$\text{生産量} = \frac{\text{生産量}}{\text{葉量}} \times \text{葉量}$$

3

## 物質生産と水：光合成の材料としての水

光合成



分子量	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	180
	$\text{H}_2\text{O}$	18

光合成の材料としての水

糖1g生産するのに0.6gの水が必要

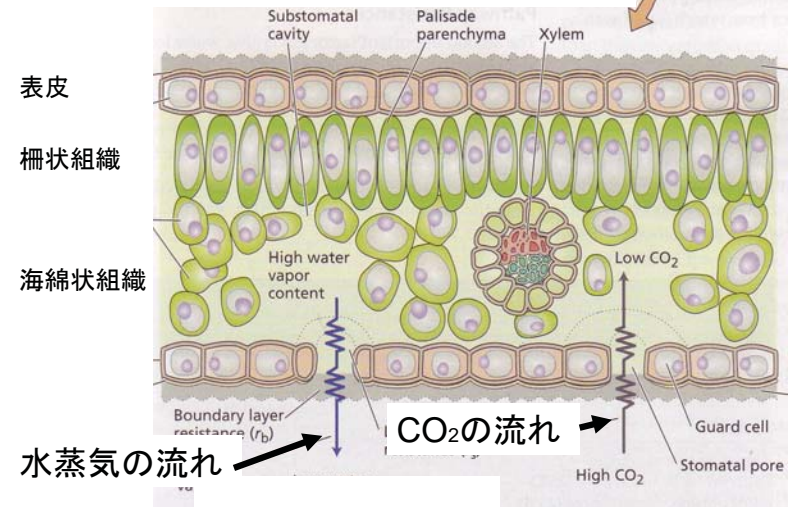
4

# 物質生産と水：二酸化炭素を取り込むための水

- 気孔を介した気体の出入り: 拡散作用による。
- 濃度の高い側から低い側へ気体分子が移動。
- **CO<sub>2</sub>濃度**: 葉内で光合成によって消費されるので、気孔内で濃度が低下(大気の方が濃度が高い)。
- **水蒸気圧**: 葉内の細胞から水蒸気が供給されるので、気孔内では葉温の飽和水蒸気圧に達する(気孔内の方が濃度が高い)。

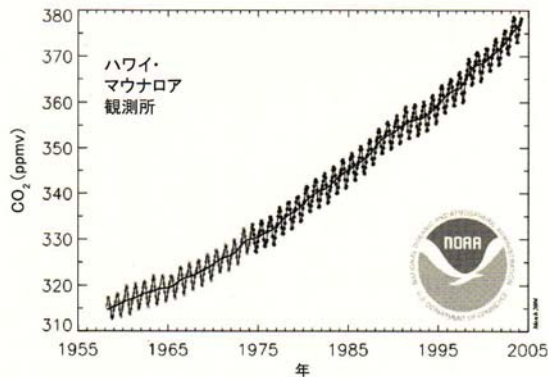
5

CO<sub>2</sub>と水蒸気の流れは拡散によって起きる  
 気体分子は、濃度の高い方から低い方に移動  
 拡散速度は濃度差に比例する



(Taiz & Zeiger (2002)を改変) 6

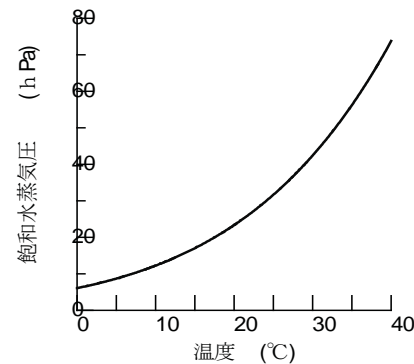
## 大気CO<sub>2</sub>濃度



1%=10,000 ppm  
 0.1%= 1,000 ppm  
 0.01%= 100 ppm

## 気温と飽和水蒸気圧

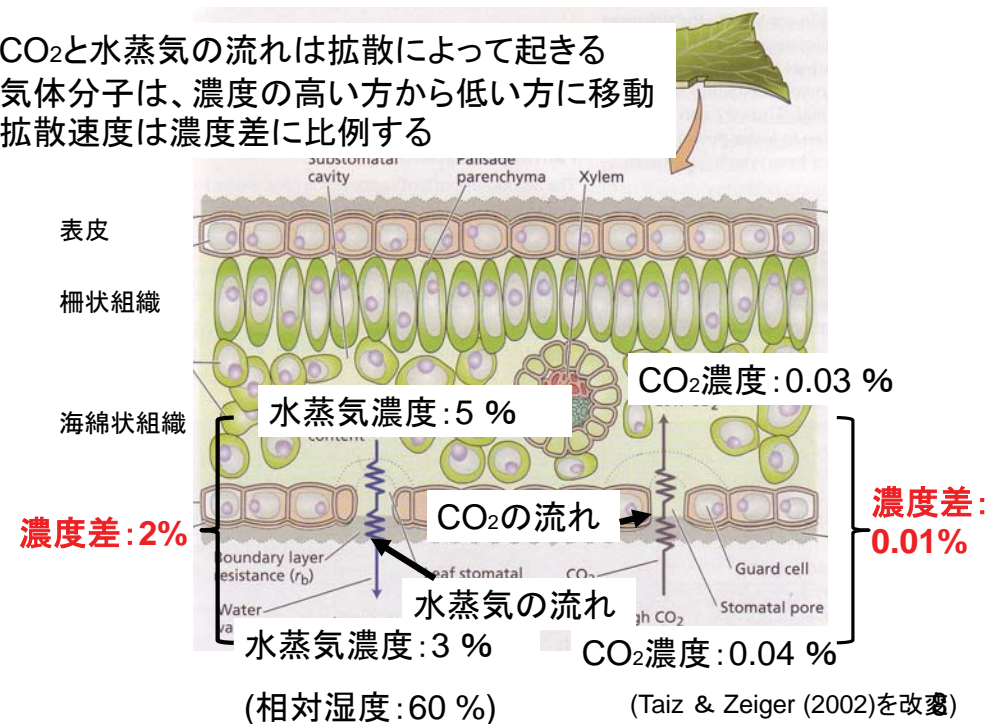
水が沸騰する100°Cの時の飽和水蒸気圧は1013 hPa(1気圧)



$$\text{相対湿度(\%)} = \frac{\text{水蒸気圧}}{\text{飽和水蒸気圧}} \times 100$$

$$\text{水蒸気濃度(\%)} = \frac{\text{水蒸気圧}}{1013 \text{ (hPa)}} \times 100$$

CO<sub>2</sub>と水蒸気の流れは拡散によって起きる  
 気体分子は、濃度の高い方から低い方に移動  
 拡散速度は濃度差に比例する



(Taiz & Zeiger (2002)を改変)

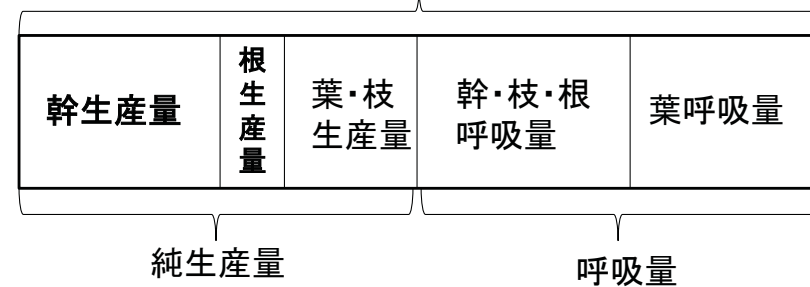
## 気体拡散速度

- 気体拡散速度 = 水蒸気拡散コンダクタンス × 拡散係数 × 拡散係数
- 大気と葉内の濃度差: 水蒸気(2%)の方がCO<sub>2</sub>(0.01%)より**200倍**大きい。
- 拡散係数: CO<sub>2</sub>は、水蒸気の**約1.6分の1**
- 水蒸気拡散コンダクタンス: 拡散抵抗の逆数で、拡散しやすさを表す。境界層コンダクタンスと気孔コンダクタンスによって決まる。



拡散速度: 水蒸気の方がCO<sub>2</sub>より**320倍**大きい。  
 光合成によって**1分子のCO<sub>2</sub>**を取り込む時、蒸散によって**320分子の水**が放出されることを意味する<sup>9</sup>

総生産量 = 総光合成量



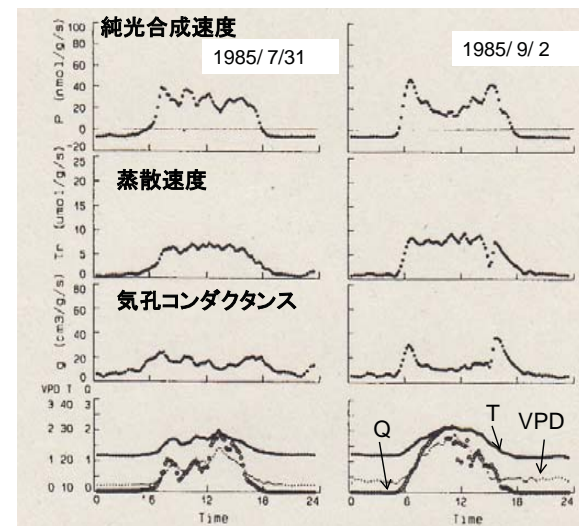
総光合成量の**およそ半分は呼吸**によって消費される。  
 苗木が1グラムが成長するのに、2グラムの総光合成量が必要。  
 光合成産物2グラムに炭素1グラムが含まれる。(炭素濃度50%)  
 炭素の原子量(12)と水の分子量(18)の比は、18/12(= **1.5**)

苗木1グラムの成長に、 $1 \times 1.5 \times 320 =$  **480グラム**の水が必要  
 高い光合成速度を発揮するには、**葉量に見合う根量が必要**<sup>10</sup>

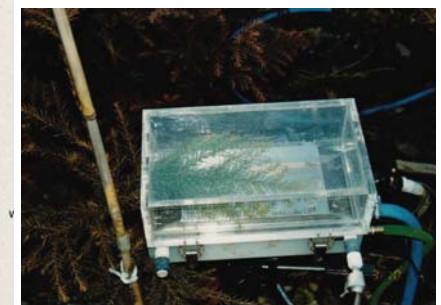
## 裸根苗の植栽当年の光合成

- 苗畑に生育する苗木は、葉量と根量のバランスがとれている。
- 苗畑からの掘り取り時に、根系が損傷を受ける。
- 特に、吸水部位である細根・根端を失う。
- 植栽時の裸根苗では、葉量と根量(細根量)のバランスが崩れている。
- 葉量と根量のバランスをとるためには、根量を増やす必要がある。
- 根量を増やすためには、光合成産物が必要である。

斜面上部に植栽した苗木



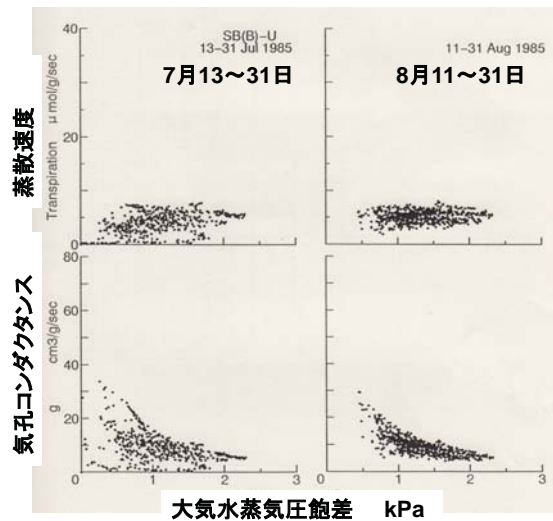
1985年3月中旬に3年生苗を、  
 尾根から沢にかけて植栽  
 (東京大学千葉演習林)



植栽当年のスギ植栽木の光合成速度(最上段:P)、蒸散速度(2段目:Tr)、気孔コンダクタンス(3段目:g、気孔開度の指標)の日変化と環境条件(最下段:気温(T °C)、大気の水蒸気圧飽差(VPD kPa)、日射量(Q mmol/m<sup>2</sup>/s))(丹下(1995)を改変)



## 斜面上部の植栽苗



境界層拡散コンダクタンスを無視すると、

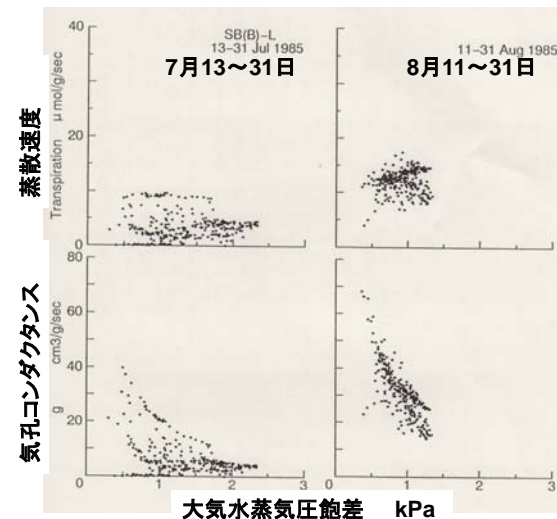
蒸散速度  
= 大気飽差 × 気孔コンダクタンス

大気飽差が大きくなっても(空気が乾燥しても)、蒸散速度は変わらないため、気孔コンダクタンスが低下する。

植栽当年の7月、8月における大気飽差と蒸散速度、気孔コンダクタンスの関係(斜面上部の植栽苗)(丹下 (1996)を改変)

13

## 斜面下部の植栽苗

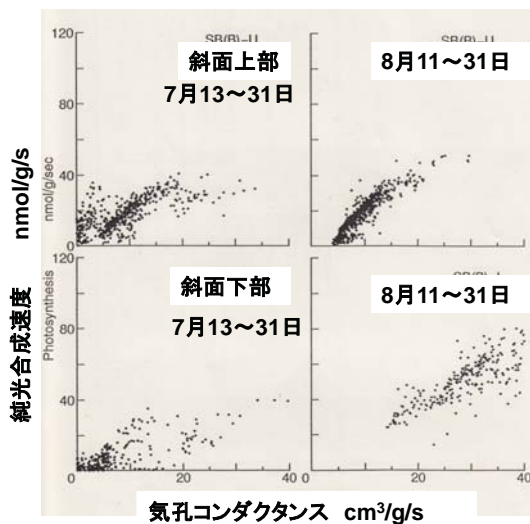


大気飽差が大きくなっても(空気が乾燥しても)、蒸散速度は変わらず、気孔コンダクタンスが低下する。

蒸散速度が大きくなると、気孔コンダクタンスが大きくなる。

植栽当年の7月、8月における大気飽差と蒸散速度、気孔コンダクタンスの関係(斜面下部の植栽苗)(丹下 (1996)を改変)

14



植栽当年の光合成速度は、土壤水分条件によらず、長期間、気孔コンダクタンスが小さいことの影響を受ける

植栽当年の7月、8月における気孔コンダクタンスと純光合成速度の関係(丹下 (1996)を改変)

15

## 生産量を規定する要因

$$\text{生産量} = \frac{\text{生産量}}{\text{葉量}} \times \text{葉量}$$

生産量/葉量は、葉の生産効率(≒光合成速度)

葉の生産効率は、葉の養分状態による光合成能力と水ストレスによる気孔閉鎖(気孔コンダクタンス)の影響を受ける

$$\text{生産量} = \text{葉の生産効率} \times \text{葉量}$$

$$100 = 10 \times 10$$

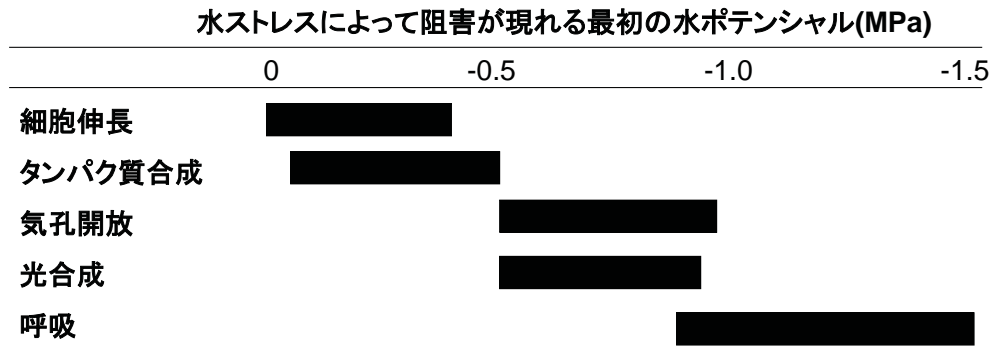
$$50 = 5 \times 10$$

$$50 = 10 \times 5$$

水ストレスを受けると葉の生産能力を十分に発揮できない。  
葉が多いと、樹体から水分が失われやすくなる。

16

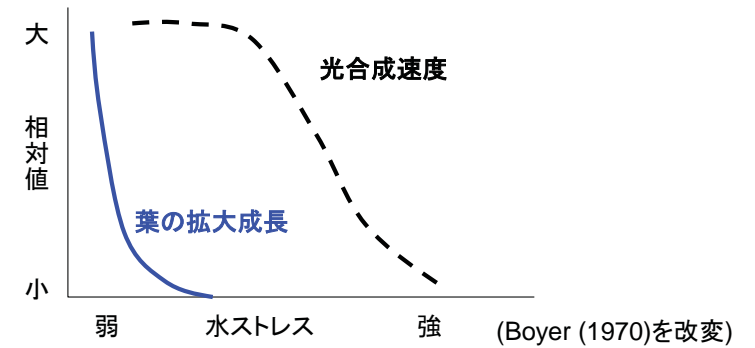
## 水ストレスの生理作用への影響



中生植物を対象。Hsiao et al. (1976)を改変。

17

## 水ストレスと光合成・葉の拡大



葉の増加は、光合成速度が低下するよりも弱い水ストレスの段階から抑制され、光合成産物は根や茎の成長により使われ、植物体はより水ストレスを生じにくい形態になる。根切り作業によって、伸長成長が停止し、細根の形成が促進される。

18

## 植栽当年の光合成を規定する要因

- 苗畑からの掘り取り時及び植栽までの保管時に、吸収根が損傷を受けたことによる葉量に対する吸水量の不足。
- 吸水量が少ないことによる、大気湿度が低い時の気孔閉鎖による光合成量の低下。
- 水ストレスによる光合成産物の地上部の成長への配分の抑制。
- 光合成量が少ないために根量増加に時間がかかり、葉量に見合う根量に達しにくい。
- 土壌の水分条件によらず、植栽当年の成長量は小さい。

19

## コンテナ苗造林

- 造林成果
  - ①高い活着率
  - ②植栽可能な季節が長い
  - ③初期成長は、裸根苗と大差ない
  - ④植栽地によって、裸根苗との成長差が異なる
- 伐採から地拵え、植栽を一貫して行うことによる造林コストの削減を実現
- 裸根苗と比較した初期成長の改善による下刈りコストの削減は実現されていない
- コンテナ苗の大苗を用いた下刈りコスト削減・シカ食害軽減の試み

20

## コンテナ苗の得失



・施肥・灌水条件で育成されることの影響

育苗コストが高い  
根に対して大きい地上部  
(菌根形成率低い?)

・コンテナで育成されることの影響

植栽時の根系損傷少ない  
根張りのない根系  
土壌と根の接触面積小さい  
(根の伸長に伴う土壌との接触面積の増加小さく?)

茨城森林管理署:コンテナ苗を活用した一貫作業システム実証試験現地検討会(2013年10月1日)林野庁の150mLのコンテナで育成したスギ苗

## コンテナ苗



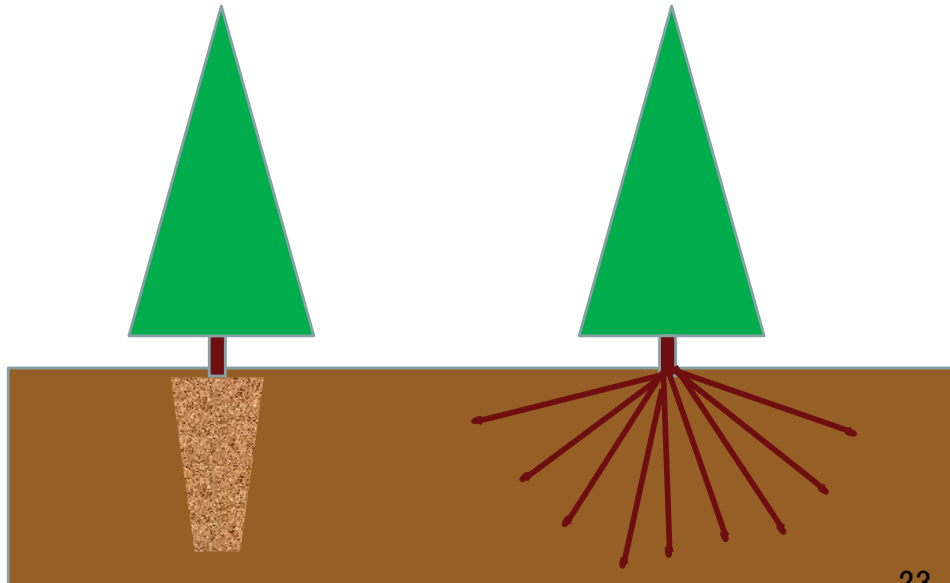
ココナツハスクを培土として、LIECO15青モデル(スリット入り390 mL)にスギ1年生実生苗を移植(4月初めに移植、7月に撮影)



8月24日に抜き取って撮影  
22

## コンテナ苗と裸根苗の根系の違い

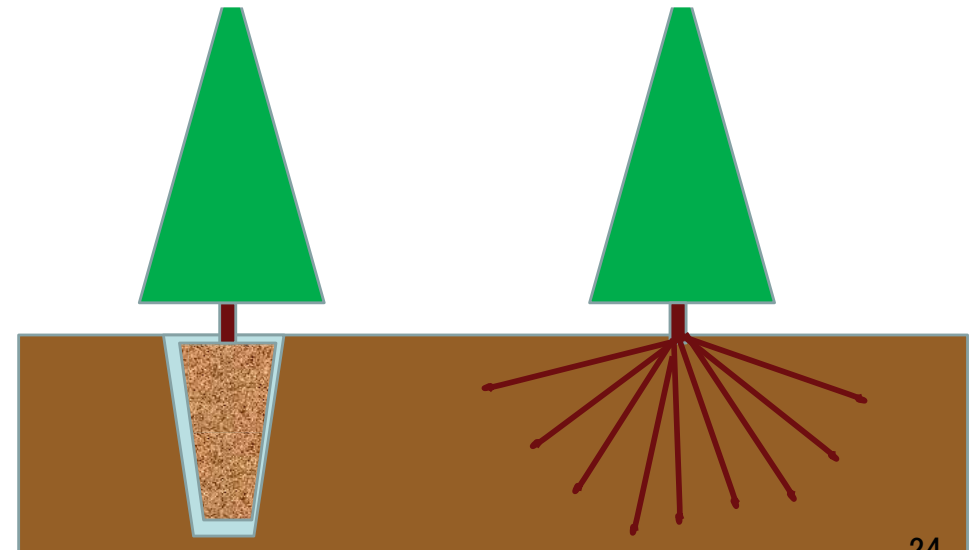
根と土壌との接触面積の違いー土壌水の毛管移動に依存



23

## コンテナ苗と裸根苗の根系の違い

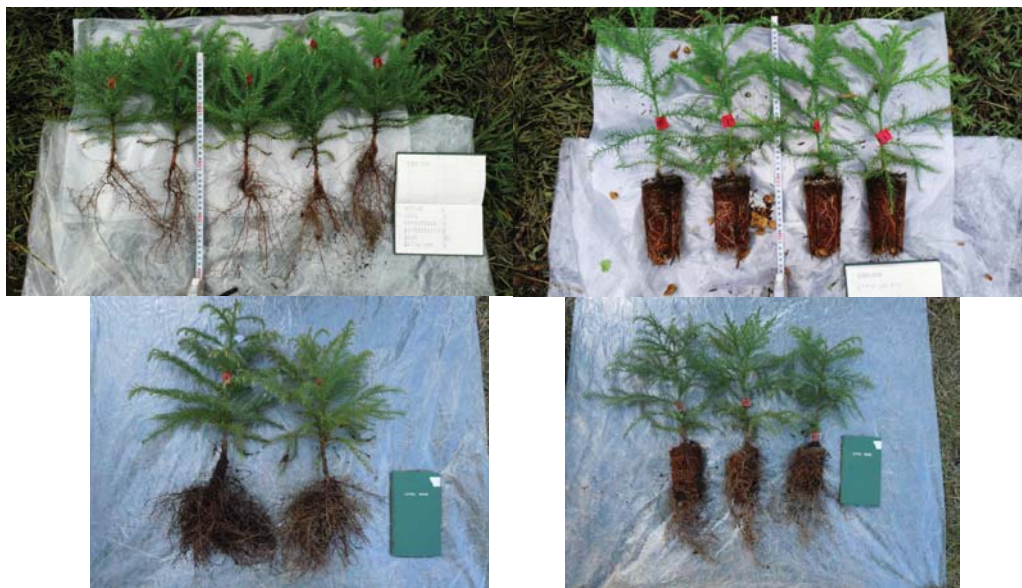
風によって揺すられ根系と土壌の接触が失われやすい?  
礫の多い場所では、根と土壌の接触が失われやすい?



24



## 植栽後の根の成長



裸根苗

コンテナ苗

2013年8月24日植栽時(上段)、11月4日掘り取り時(下段)

25

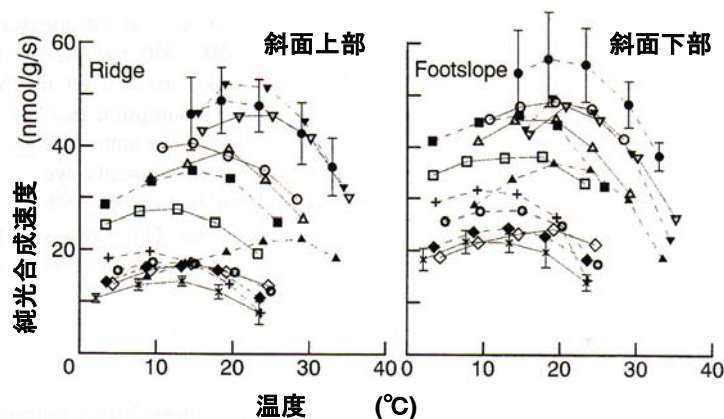
## コンテナ苗の成長特性

- 造林成果
  - ①高い活着率
  - ②植栽可能な季節が長い
  - ③植栽地による初期成長の違いは、植栽時の気象条件・土壌条件、苗の形状(葉量と根量のバランス)による?
- 初期成長の改善には、雑草木が繁茂する前に、葉量と根量のバランスがとれていること、葉量が多いこと、の条件を満たすことが必要。

26

## 苗木の成長の季節変化

- 樹高成長と肥大成長は、春に始まって、秋に終了する。
- 地上部の成長が停止している季節でも、夏季に比べれば少ないが光合成生産は行われている。

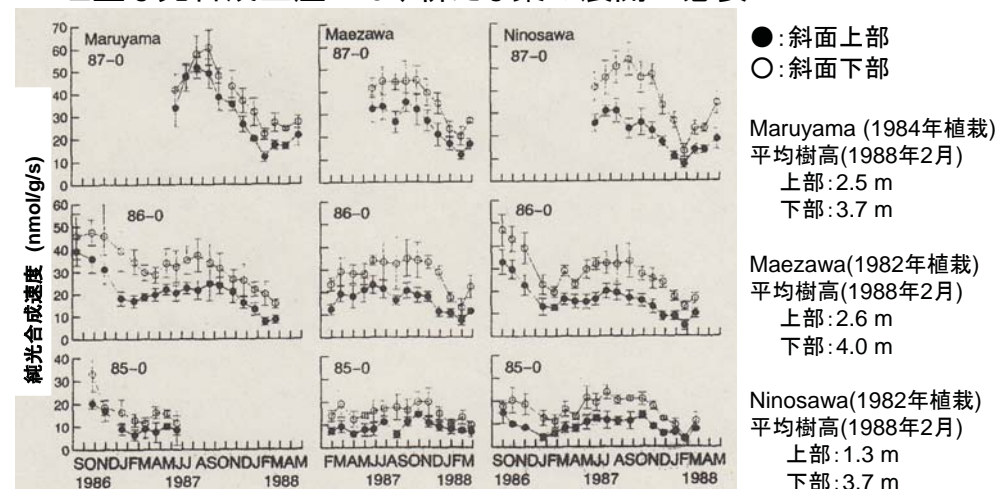


東京大学千葉演習林におけるスギ当年葉の温度-光合成曲線の季節変化(Tange (1996)を改変 ◆:3月、◇:4月、▲:5月、△:6月、●:7月、▼:8月、▽:9月、○:10月、■:11月、□:12月、+:1月、×:2月、◎:3月)

27

## 加齢に伴う光合成能力の低下

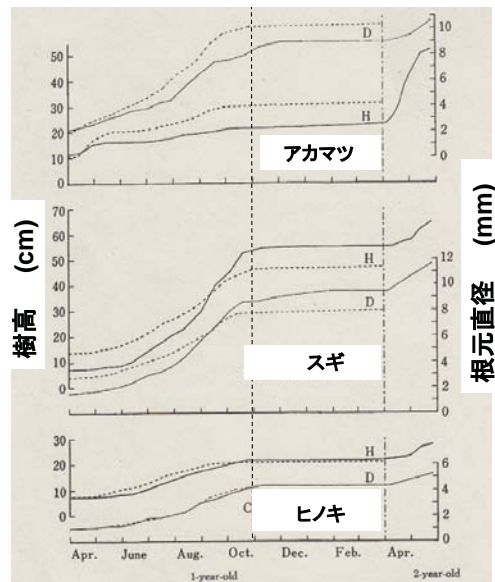
加齢に伴い、光合成能力は低下  
旺盛な光合成生産には、新たな葉の展開が必要



スギ幼齢木の針葉の光合成能力の季節変化(Tange (1996)を改変) 87-0、86-0、85-0は、それぞれ1987年、1986年、1985年に展開した葉であることを示す。

28

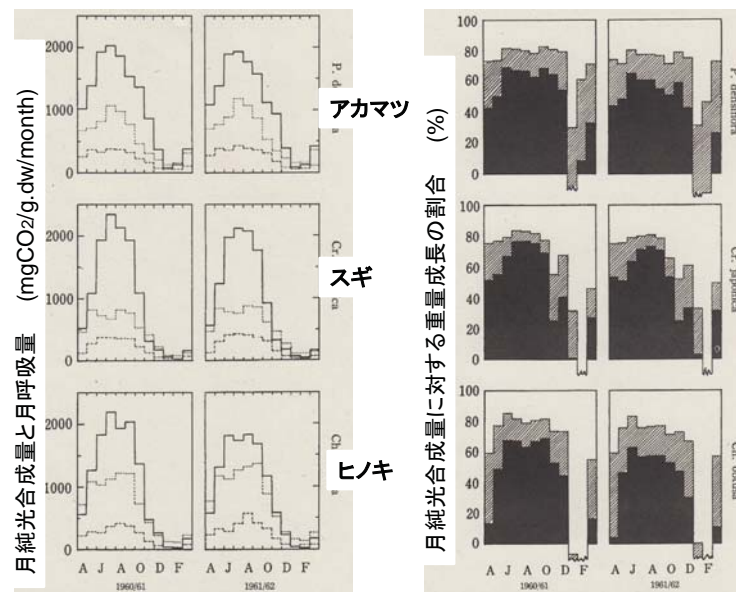
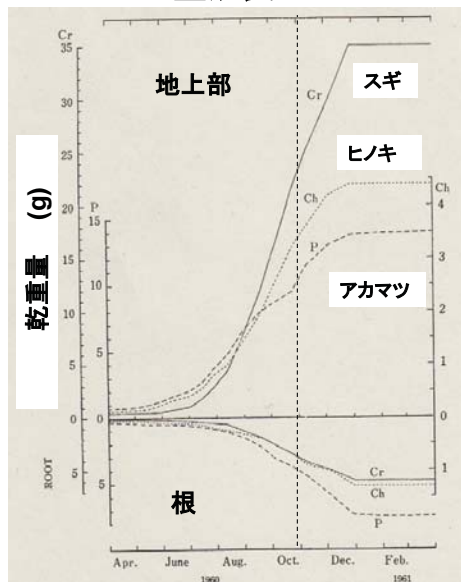
## 伸長成長・肥大成長



実線: 1960-1961年、破線: 1961-1962年

東京・田無でのアカマツ、スギ、ヒノキ1年生苗の成長の季節変化(Negisi (1966)を改変)

## 重量成長



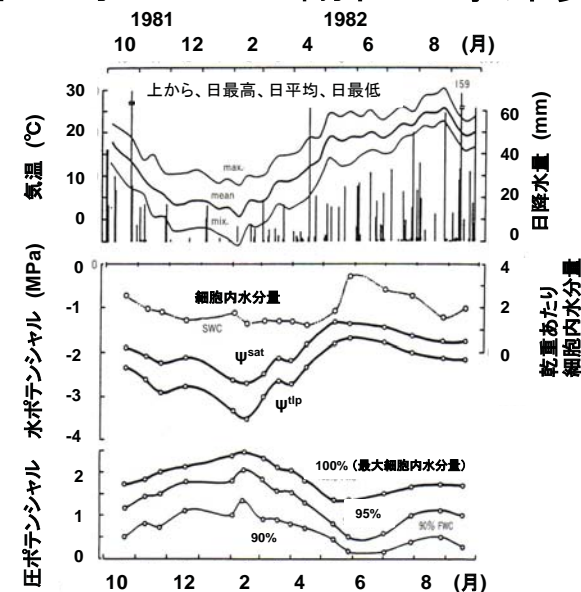
東京・田無でのアカマツ、スギ、ヒノキ1年生苗の光合成生産の季節変化(Negisi (1966)を改変)

左図の太線: 月純光合成量、右図の黒塗り: 月純光合成量を100とした時の重量成長の割合

## 苗木の成長の季節変化

- 関東地方では、3月下旬から4月上旬に肥大成長が、4月下旬から5月上旬に樹高成長が始まる。
- 遅くとも10月中に、樹高成長も肥大成長も停止する。
- 重量成長は、12月まで継続している。
- 根の伸長成長は、12月まで継続している？

## 苗木の水ストレス耐性の季節変化



3年生スギ苗の葉の水分生理特性の季節変化(Doi et al. (1986)を改変)

$\psi^{HP}$ : 圧ポテンシャルが0になる時の水ポテンシャル、 $\psi^{sat}$ : 水ポテンシャルが0の時の浸透ポテンシャル



## 植栽季節と苗木の状態

- スギやヒノキは、葉の展開が長期間継続し、当年シュートに占める新葉の割合は春に高く、秋に低い。
- 葉の水ストレス耐性は、新葉で最も低く、成熟に伴って高まり、秋から冬の気温低下に伴ってさらに高まる。
- 展開したての新葉は、含水率の低下に伴う圧ポテンシャルの低下が大きく、気孔開度を維持しにくい。
- 展開したての新葉は、強い水ストレスによって傷害を受けやすい。傷害はその後の新葉の展開に影響を与える？

33

## 初期成長を良くするためには

- 初期成長の改善は、初期成長の速い樹種(スギやカラマツなど)に限られる。
- 雑草木は、皆伐後の経過年数に応じて増加する傾向があり、下刈り期間を短くするためには、植栽後の早い時期から樹高成長が旺盛であることが必要。
- 樹高成長を旺盛にするためには、できるだけ早く葉量と根量のバランスがとれることが必要。
- 同じコンテナの大きさの場合、地上部(葉量)が小さいほどバランスのズレは小さいが、葉量が少ないと光合成量も少なく、成長量も小さい。

34

## 秋植えによる初期成長改善

- 地上部の成長速度が低下しているが、光合成生産が盛んな8~9月に植栽することで、翌春までに葉量と根量のバランスをとれる可能性がある。
- 地上部が充実した夏~秋にコンテナ苗を植栽することで、初期成長を改善できるか？
- 夏に根切りを行い、伸長成長・葉の展開を止め、細根量を増やした裸根苗を秋植えすることで、翌春の初期成長を改善できるか？
- 秋植えに適した形態の苗木の生産が重要

35

## まとめ

- 苗木の成長には大量の水を吸収することが必要。
- コンテナ苗は、植栽時に細根(吸収根)が損傷を受けにくいことが高い活着率の一因。
- 根系がコンテナの形状になるために土壌と吸収根との接触が限定されることが、吸水の制限要因。
- コンテナ苗は、施肥・灌水条件で育成されるために、根系に比べて地上部(葉量)が大きくなりがち。水ストレスによって植栽後に光合成産物が地下部により配分されることが、地上部の成長が抑制される一因。
- 植栽苗の初期成長を良くするためには、成長期間の開始時に葉量と根量のバランスがとれていることが必要。

36