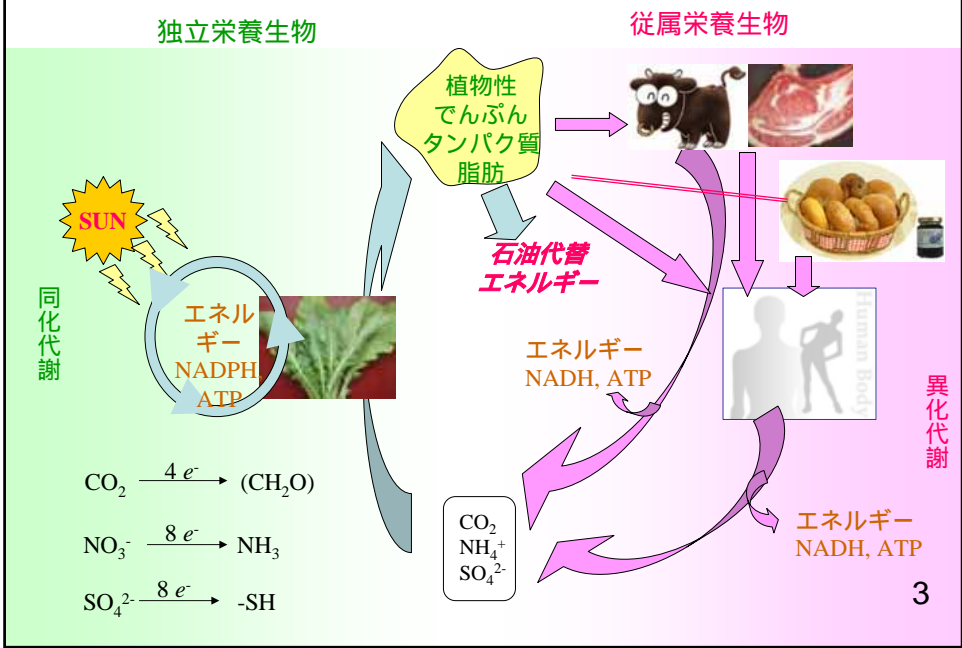


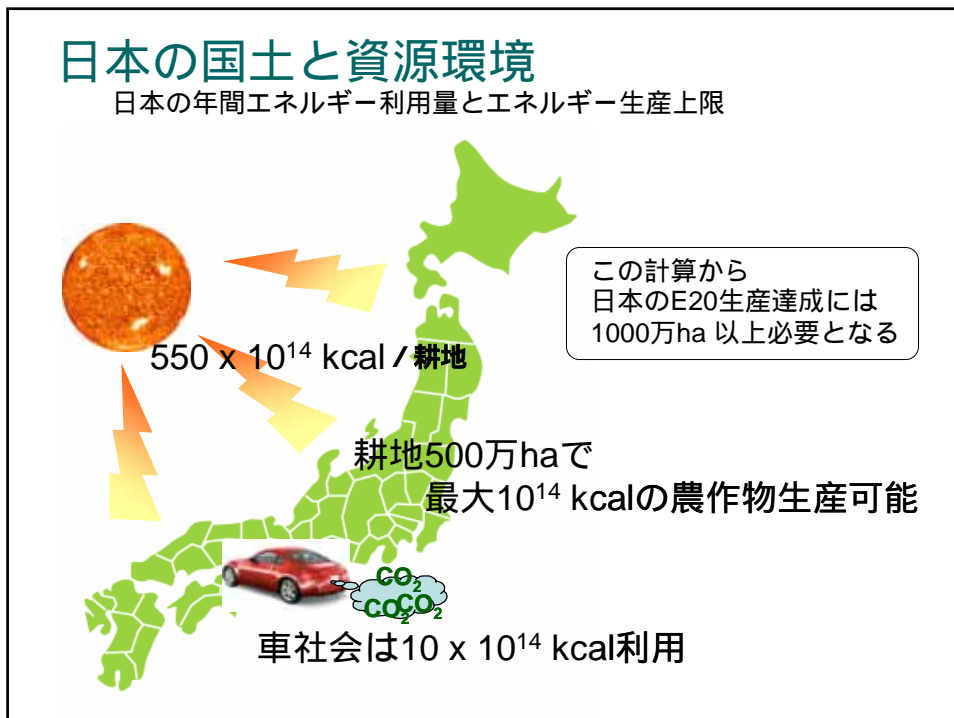
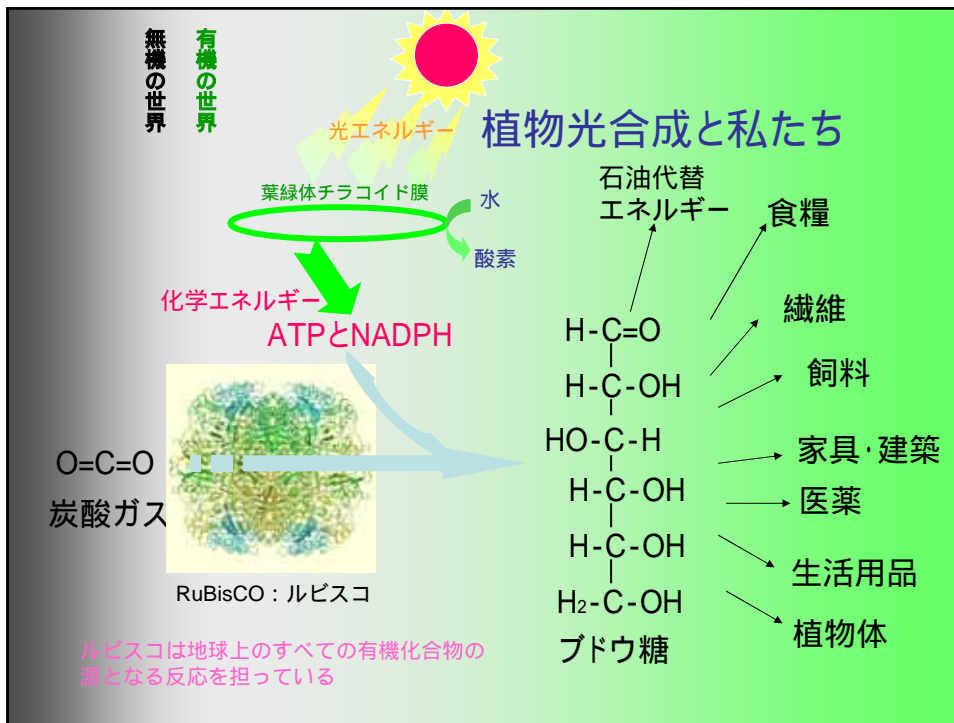
第16回 NAIST産学連携フォーラム
 「環境保全エネルギーとバイオマス研究の現状と未来」
 2007年9月6日(木)
 「植物生産の現状と機能改良」

奈良先端科学技術大学院大学
 バイオサイエンス研究所
 横田 明穂



生物の生育には2方式が存在する：独立栄養と従属栄養





日本の最大農耕面積と作物生産必要面積

609万ha農耕利用可能全面積 X 140%利用率 = 850万ha耕作有効面積

総人口1億人が必要なエネルギー

2500 kcal / 人 / 日 X 365日 X 1.2億人 = **10¹⁴ kcal / 年**

すべて米麦二毛作の場合の総生産エネルギー数

850万ha耕作有効面積 X 50 GJ/ha生産物 / 年 = **10¹⁴ kcal / 年**

もし食料・飼料輸入がストップしたら？

田 ↔ 畑切換えは至難の業

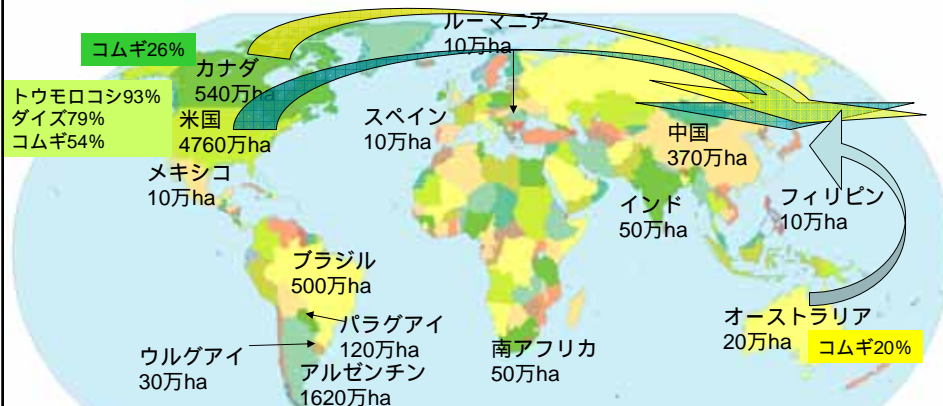
結論：日本国土の田畑耕作可能地をすべて米麦で二毛作してエネルギー的にはやっと自給可能。
これでは野菜、果物、家畜飼料の生産、畜産に使える土地はない。

世界の遺伝子組換え作物の作付け諸国と作付け面積と日本への主要穀物の輸出国

世界の全耕作面積の6%、8100万haで栽培（2004年）

全世界のダイズの60%、トウモロコシの24%、ワタの11%

除草剤耐性（75.3%）、害虫抵抗性（17.30%）、除草剤耐性・害虫抵抗性（7.5%）



食料・飼料輸入
現状への危険信号

現在、日本の飼料用作物はGM栽培国に完全依存

WTOはEU等のGM輸入規制を非科学的と判断

米国大統領は石油依存度を25%に抑えることを宣言

もし食料輸入がストップしたら？

現在の食生活(平成8年度)			国内生産のみによる供給だけの場合		
項目	単位	数量	数量	1996年食生活との比較	食料供給増減
熱量	Cal/d	2,651	1,760	66%	34%
タンパク質	g/d	90	52	58%	42%
米	kg/d	67	90	134%	34%
小麦	kg/d	33	3	このカロリー数は 9%	91%
イモ類	kg/d	21	78	江戸時代に相当 375%	275%
大豆	kg/d	7	6	90%	10%
肉類	kg/d	31	3	10%	90%
乳製品	kg/d	93	64	69%	31%
油脂類	kg/d	15	4	27%	73%
魚介類	kg/d	38	21	55%	45%

Boys (2001)

自給率UPが唯一の安全策である。先進農業国は？

1. 日本と世界の食料・飼料・バイオマス生産の現状：どうする日本？

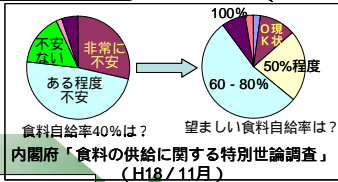
- (1) 日本の耕地面積は500万ヘクターで、3000～5000万人の生活しか支えられない。
- (2) 不足分(海外耕地面積1200万ヘクター分)は海外依存。
- (3) 海外の農作物栽培耕地の疲弊と環境悪化で海外依存の危険性増大。
- (4) 化石資源高騰で、食料原料がエネルギー原料・工業原料に転用。

国民不安

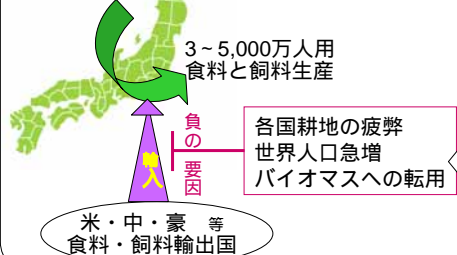
2. 食料・飼料・バイオマスの国際価格はいくら？2005年農水省統計局

コメ：35円/キログラム(国内価格248円/キログラム)
 トウモロコシ：19円/キログラム(国内価格196円/キログラム)
 ダイズ：43円/キログラム(国内価格283円/キログラム) ()内は国内で
 コムギ：250円/キログラム(国内価格750円/キログラム) 政府買入価格

食料・飼料・エネルギーの海外依存にイノベーションを！



耕地面積500万ha



21世紀の諸課題解決はバイオがキーワード

日本の食料生産の現状と自給率・国際価格レベルでの農作の方法

日本の食料・飼料用耕地の現状	海外から輸入している作物の生産に必要な耕作面積 (小麦 240万ha、トウモロコシ 215万ha、大豆 189万ha その他 294万ha、家畜飼料 250万ha)	=	1200万ha	
	国内使用中耕作地面積		500万ha (稲作180万ha 稲作外320万ha)	
	稲作以外の耕地(含遊休地)	850万ha	180万ha	= 670万ha
	現在日本が使っている食料・飼料の耕作に必要な面積 (稲以外)			1520万ha (850万ha不足)

日本農業の現実	食料自給率は40%(米93%、小麦13%、トウモロコシ0%、豆類36%) しかし、大半の飼料輸入している米国の土壌は瀕死状態。いつまで続く現状? 作物の国際価格との競争(米で9倍)
	農業人口は全人口の3.4%(アラブ首長国、イスラエル、カタール、 フランス、イギリス(自給率77%))などがこのレベル)

どうする? 日本農業	1. 計画的国土利用の国家プランニング
	2. 生産規模の拡大
	3. 単位面積当たり2倍以上の生産性向上

自給率70%は可能

3. 植物科学に植物生産性2倍増強は可能?

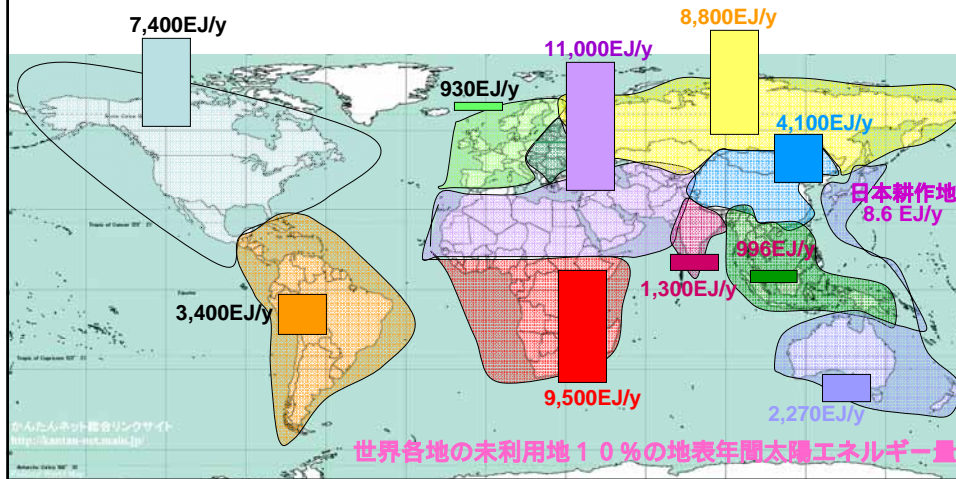


4. 耕地面積が乏しい日本にとって

太陽エネルギーが豊富な未利用地を持つベストパートナーは何処？

- (1) 日本の農耕地の太陽エネルギー量は8.6EJ/yで、1.3億人が米麦のみで生活可能分しかない
- (2) 現在の日本のための海外食料基地1200万ヘクターと化石エネルギーに代わる
(バイオマス)植物栽培農地の確保が急務
- (3) 太陽エネルギーが豊富で未利用地が確保でき、太陽エネルギー固定バイオマス輸出希望国

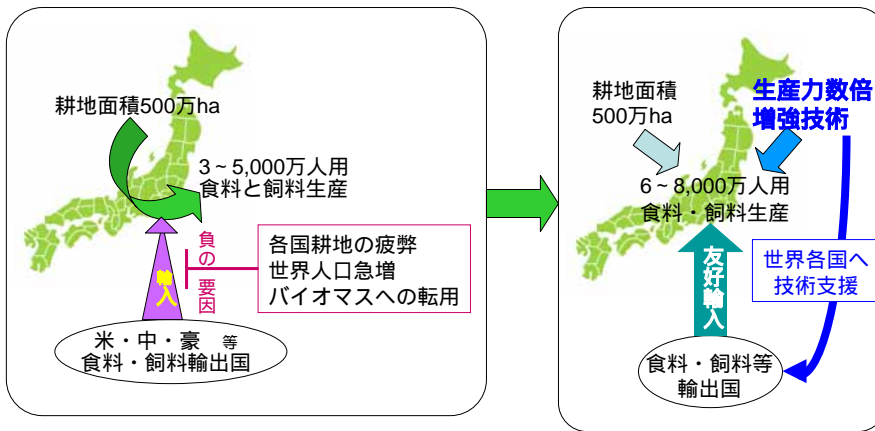
「太陽 触媒としての植物 外部エネルギー従属者」という宇宙大原則に帰着

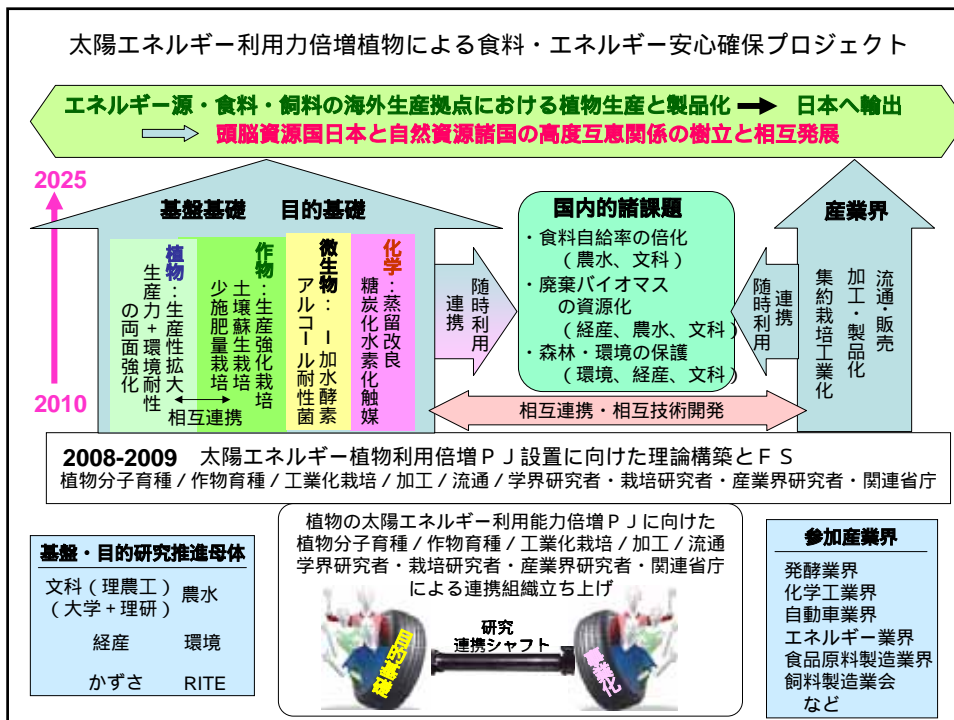
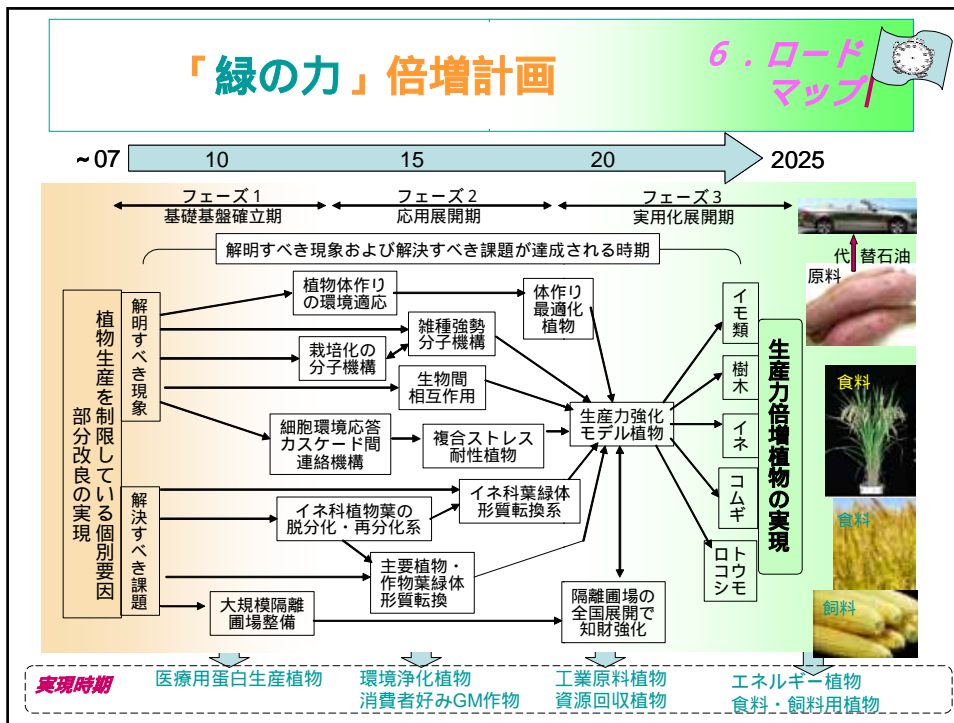


「緑の力」倍増計画

1. 日本の食料・飼料・バイオマス生産の現状

2. 我々の百年の計は何？





植物科学に2倍強の生産増は可能か？

答えは“可能”

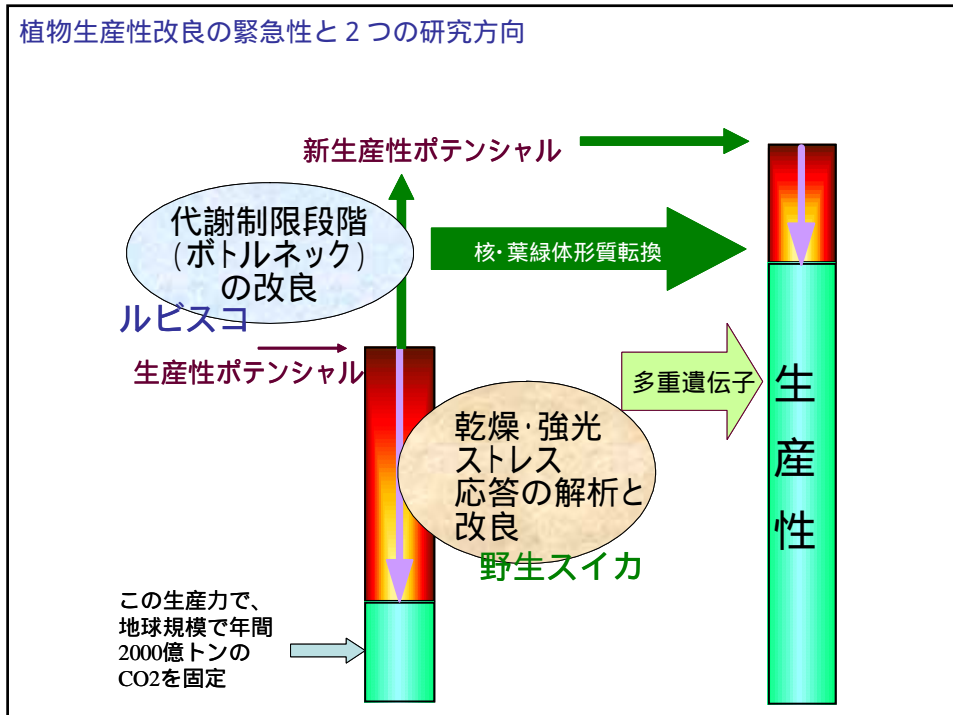
どうすれば？

1. 生産有用遺伝子の取得
2. 遺伝子導入技術の向上
3. 評価系の確立



4. 目的意識有する研究組織
5. 分子・作物・育種融合
6. 国の重点的資源投入

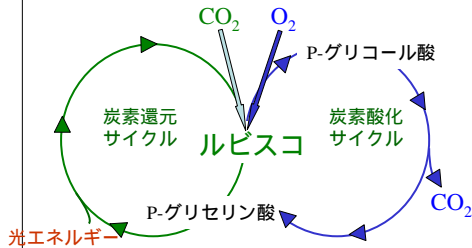
植物生産性改良の緊急性と2つの研究方向



植物の生産性と環境応答能力はルビスコの性質が決める

ルビスコの性質 1

CO₂とO₂ともに反応する。酸素が反応すると炭素の一部はCO₂として大気に戻される。この反応は植物生産性を25～50%抑制する。



ルビスコの性質 2

CO₂への親和性が低く、全ルビスコの25%だけが光合成に関与

ルビスコの性質 3

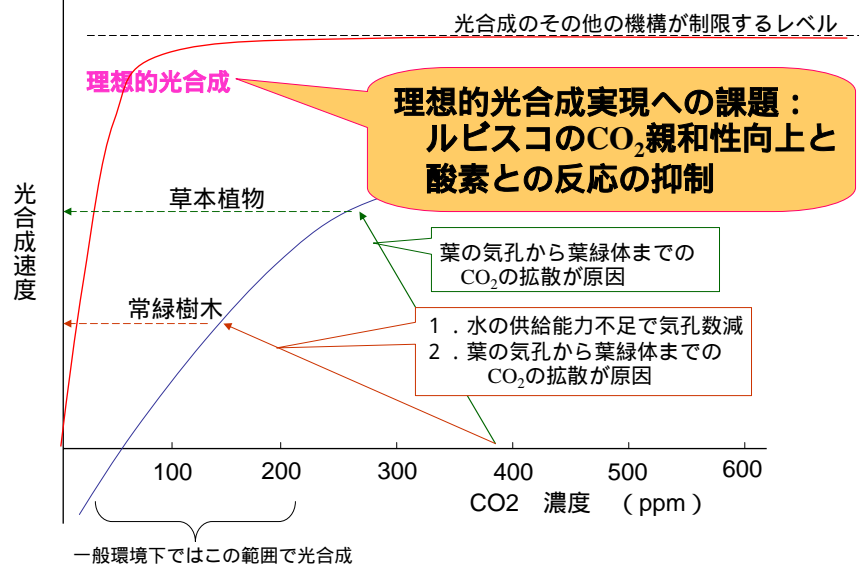
反応速度が一般の酵素の1/1000から1/100と非常に低い。

植物は大量のルビスコを合成して問題をなんとか克服



植物葉のタンパク質組成

植物の光合成はまだ未利用能力を持っている



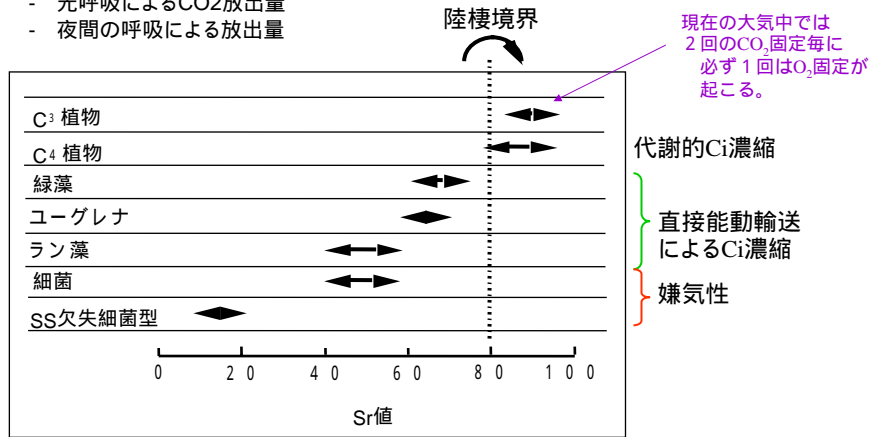
光合成進化とルビスコの機能の多様性

$$S_r = (V_{cmax}/K_{cm}) / (V_{omax}/K_{om})$$

CO₂固定とO₂固定の反応の比

正味の光合成 = 総光合成固定量
 - 光呼吸によるCO₂放出量
 - 夜間の呼吸による放出量

ガルディエリア始め
 原始紅藻のルビスコ
 Sr値 = 240



光合成機能改良を目指したルビスコ研究

ルビスコの生きた化石遺伝子を枯草菌に発見

核遺伝子 (*rbcS*)

PNAS (1997) Cross-talk mRNA

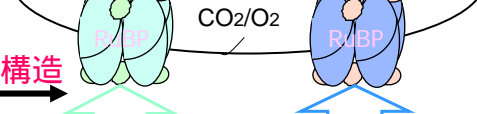
葉緑体遺伝子 (*rbcL*) mRNA

Science (2003)
 JBC (2006)

Better Photosynthesizers

- 本提案研究の目的
1. 優良ルビスコ優良機能部位の同定と優良機能部位の植物ルビスコへの導入
 2. 優良ルビスコの植物への直接導入

CR/PCO cycle CO₂/O₂



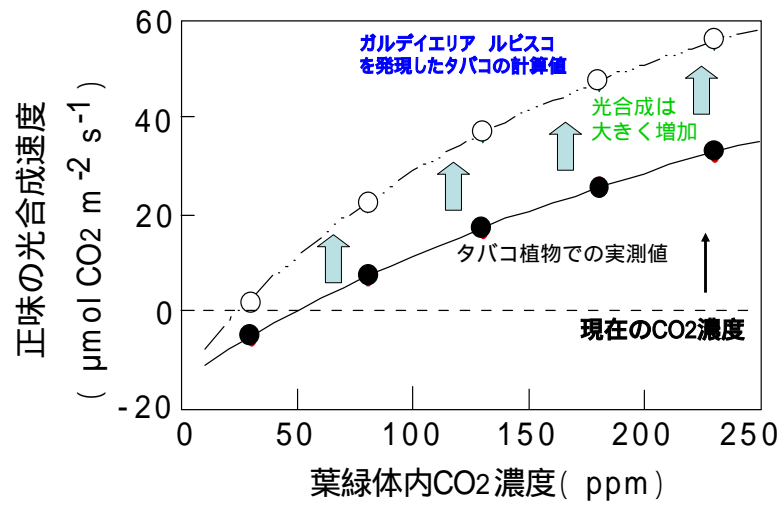
機能不良ルビスコ
 ラン藻、緑藻、高等植物のルビスコ
 $k_{cat}: 3-8 \text{ s}^{-1} \text{ site}^{-1}$
 $S_{rel}: 10-90$

優良ルビスコ
 ガルディエリアとその仲間が持つルビスコ
 $S_{rel}: 240$

配列改変ルビスコ
 $k_{cat}: 16 \text{ s}^{-1} \text{ site}^{-1}$

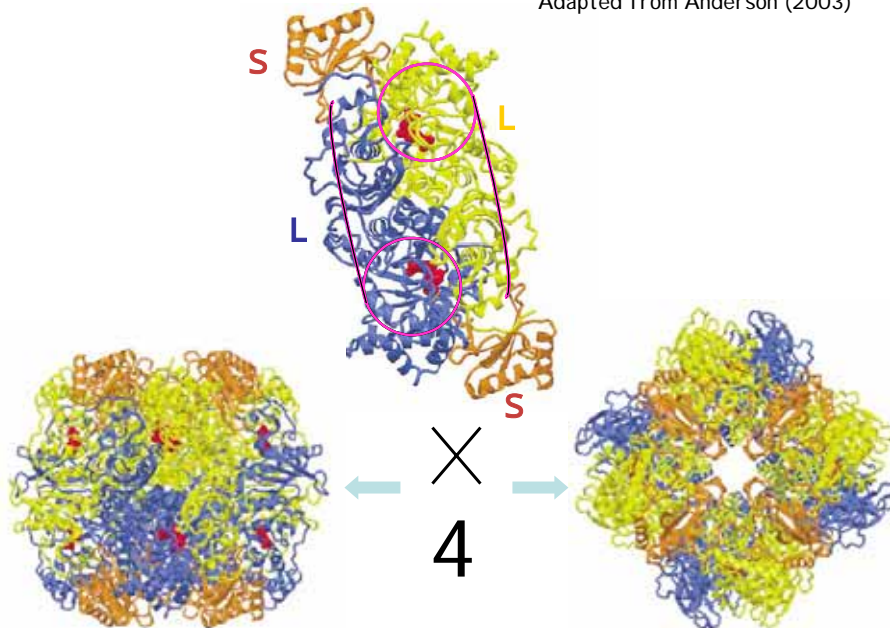
FEBS Lett. (2002)
 JB (2001)
 JBC (1999)
 BBRC (1997)

もしガルドイエリア ルビスコの遺伝子が植物葉緑体で機能したら？

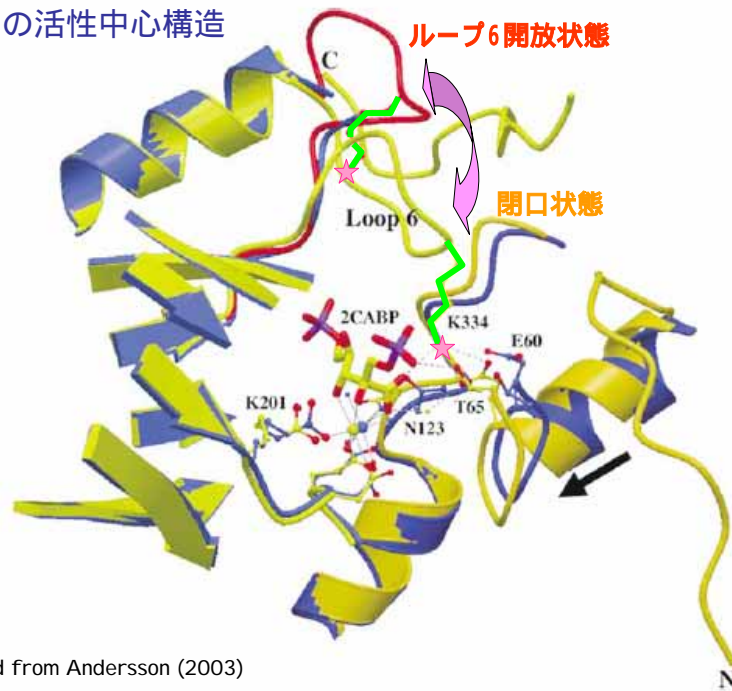


植物ホウレンソウ・ルビスコの構造

Adapted from Anderson (2003)

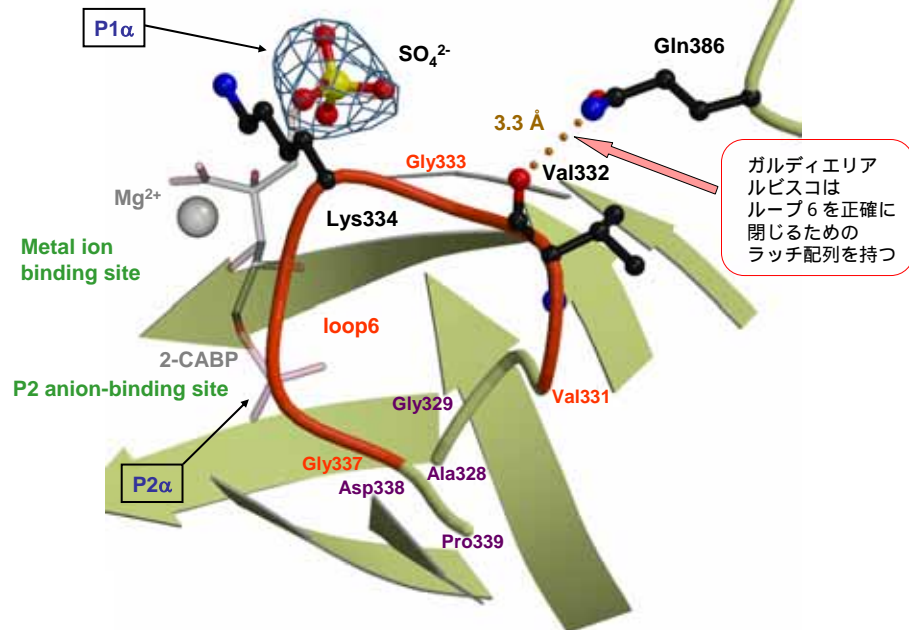


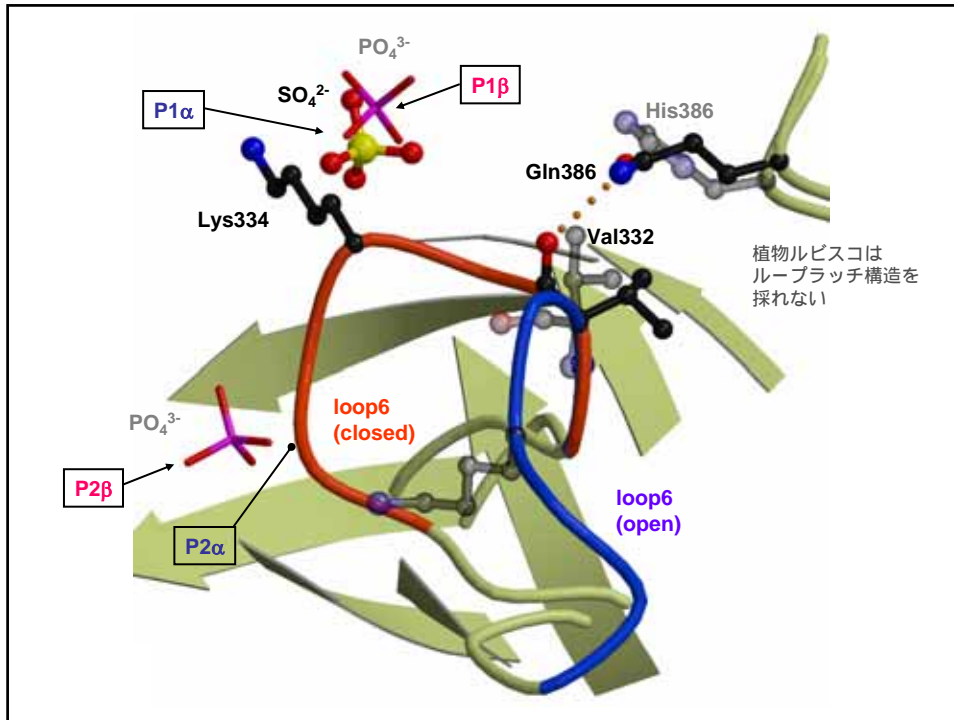
ルビスコの活性中心構造



Adapted from Andersson (2003)

P1 anion-binding site





嫌酸素ルビスコ酵素の作成ストラテジー

本申請課題 植物およびラン藻ルビスコの384VWH386を384CGQ386に置換とその評価

spinach and other plants	380 PVASGGIHW H MPAL
cyanobacteria and γ -purple bacteria	PVASGGIHW H MPAL
β -purple bacteria and non-green algae	PVASGGIHW CGQ MHQ

Loop 6
329 GTVV-C-N-**GK**LEG

Hydrogen bond
 2.8Å in CABP complex
 3.3Å in SO_4^{2-} complex
 3.9Å in spinach CABP complex

JBC (1999)
FEBS Lett. (2002)

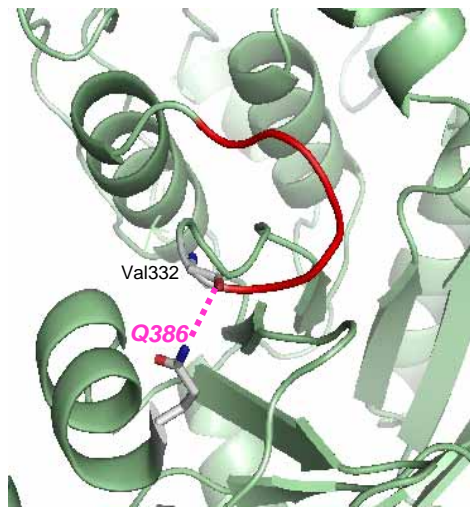
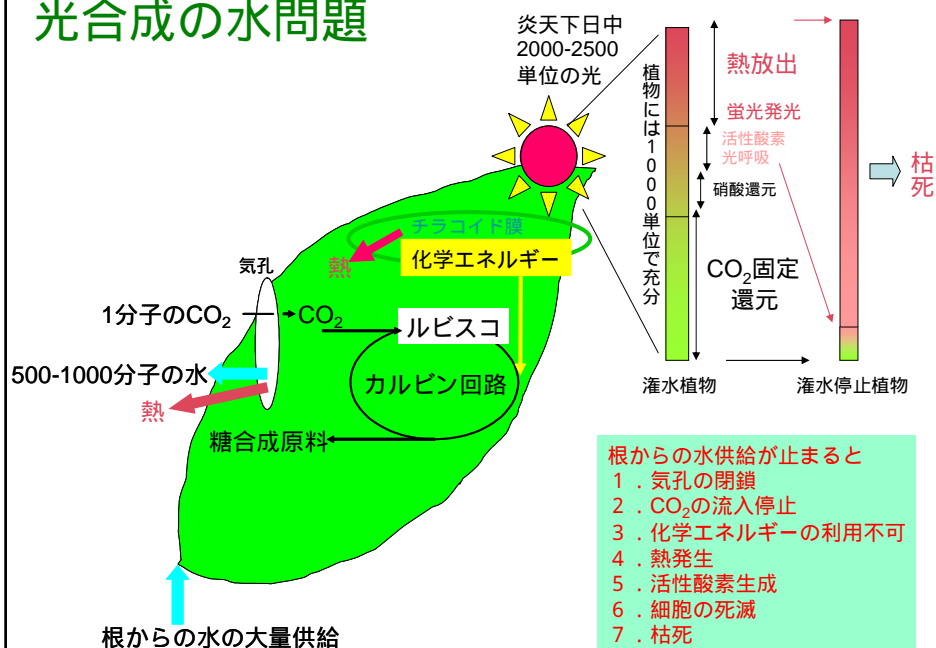
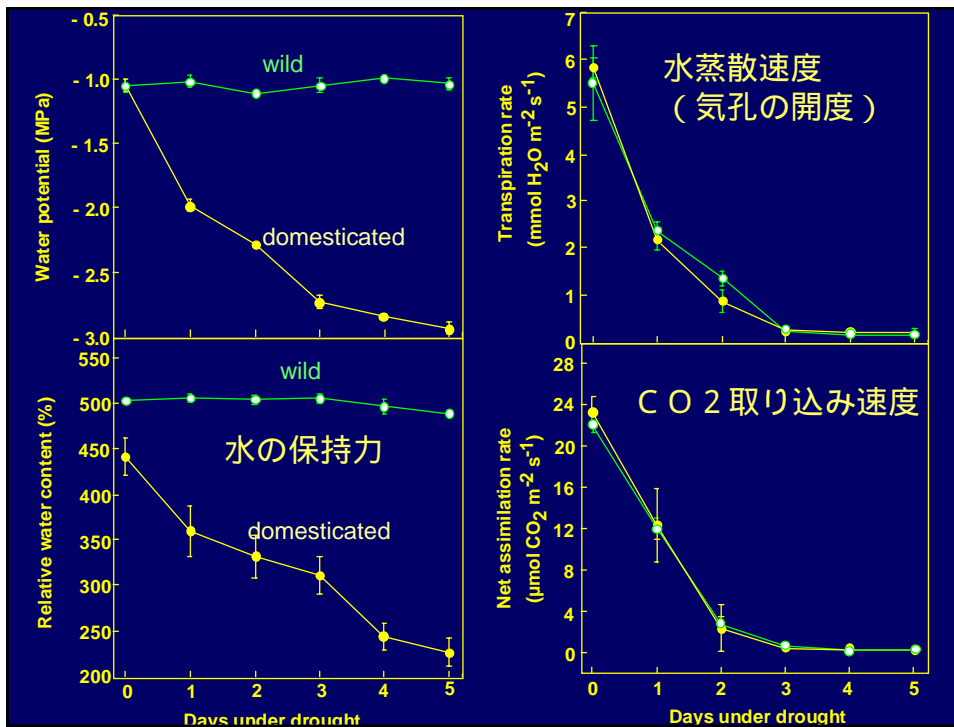


Fig.4 3D-structure model of H386Q *synechococcus* RuBisCO by using SWISS MODEL.

光合成の水問題



- 根からの水供給が止まると
1. 気孔の閉鎖
 2. CO₂の流入停止
 3. 化学エネルギーの利用不可
 4. 熱発生
 5. 活性酸素生成
 6. 細胞の死滅
 7. 枯死

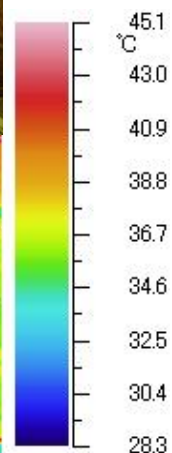
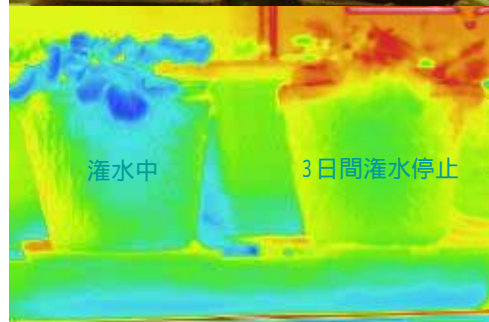


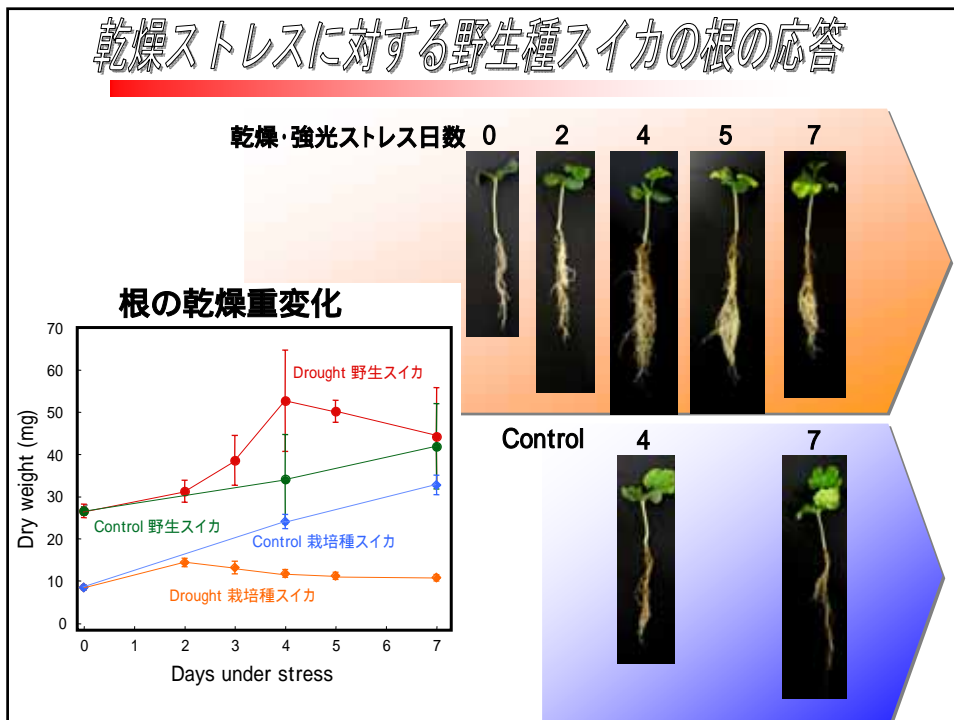
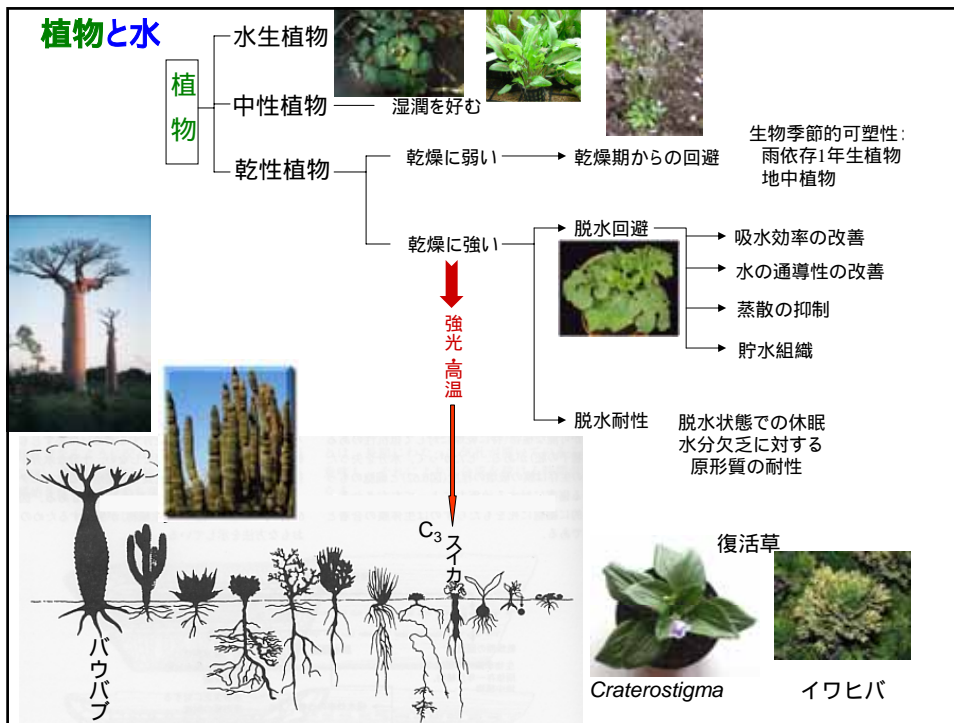
乾燥強光ストレス下での野生スイカ葉面温度上昇

育成装置環境
 気温 35
 湿度 45-55%
 光強度 700
 μmol/m²/s



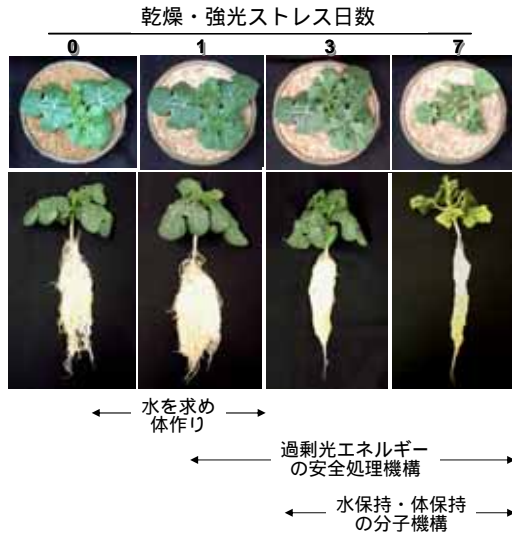
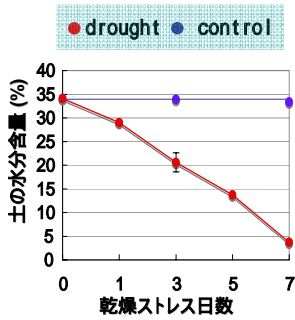
カラハリ砂漠環境
 気温 ~45
 湿度 15-20%
 光強度 2500
 μmol/m²/s





植物における水問題：カラハリスイカの分子の術とは

生育条件
 明期 / 16時間
 (光量: 750 $\mu\text{mol photon/m}^2/\text{s}$
 温度: 35, 湿度: 50%)
 暗期 / 8時間
 (温度: 25, 湿度: 60%)、
 用土 / イソライト (粒径 2mm)



タバコ葉緑体ゲノムへのランゲル(BSPF)遺伝子導入による光合成と生産性の向上

生産力強化遺伝子

葉緑体ゲノムへのBSPF遺伝子導入

葉緑体での光合成

根成長促進遺伝子

優良知財の高度利活用

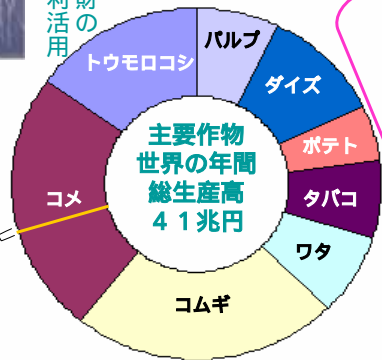
奈良先端大 10兆円プロジェクト構想

環境適応型 生産力強化 高付加価値

知財強化共同プロジェクト

NAIST

植物ハイテック研



日本のコメ生産高は世界の1.7%

大学の植物科学研究の今後

火急の社会的課題解決への貢献

1. とくに、植物科学者として、食料・環境・エネルギー分野における植物高度利用のための科学技術開発への貢献を目指す。
2. すべての分野において、植物生産力強化のためのGMとその開放系圃場での評価系の構築が重要。
3. そのためには、分子、作物、育種の分野間の障壁の排除と植物科学産業界・エネルギー産業界等との連携の必要性

