

# 大気の浄化と温暖化防止に寄与する ゴルフ場

(ゴルフ場のCO<sub>2</sub>収支)

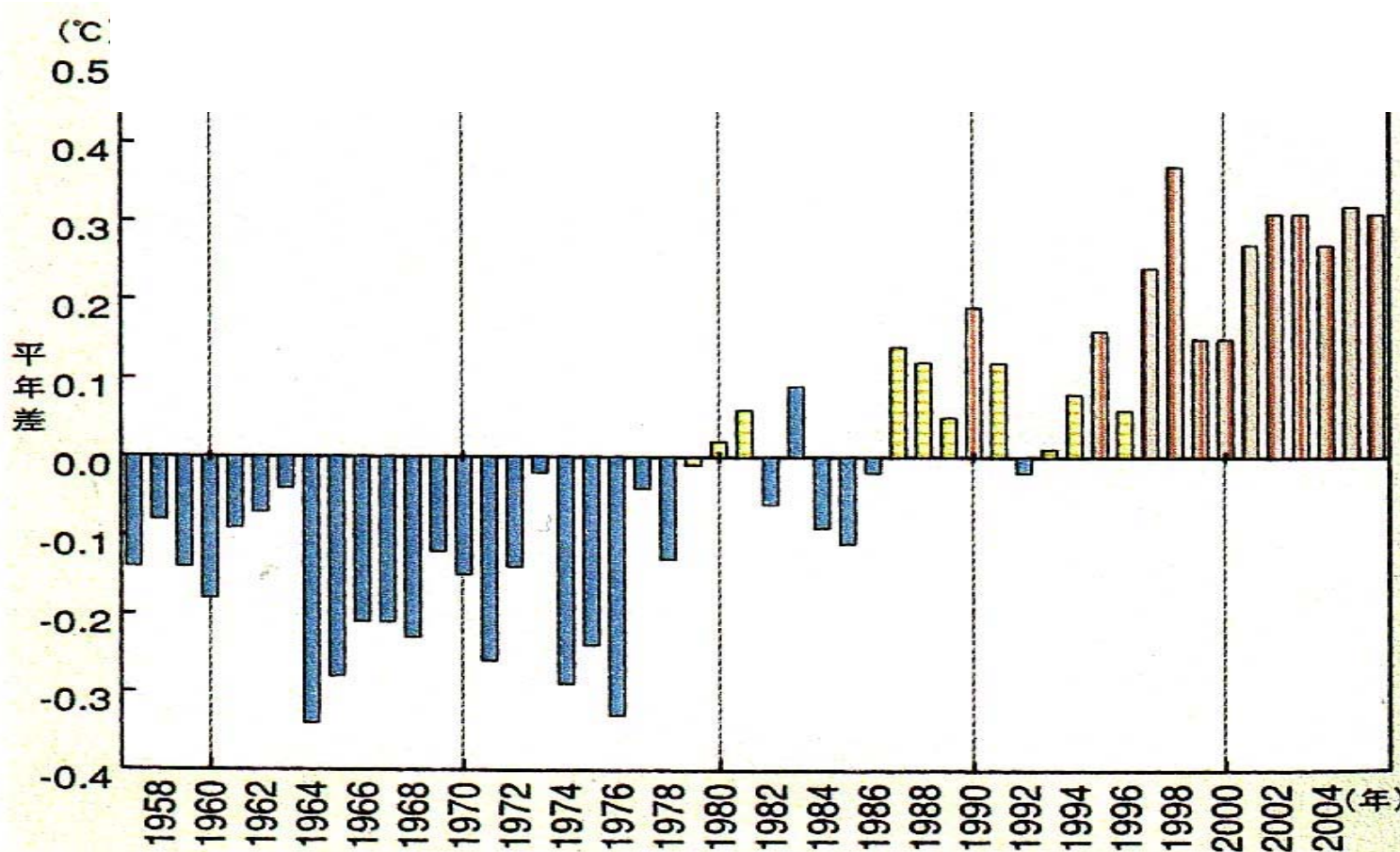
縣 和 一

(九州大学名誉教授)

# 地球温暖化とは

1. 過去50年間の**気温**の変化
2. 地球温暖化の**メカニズム**
3. 温室効果ガスの**種類**と実態
4. 地球温暖化の**主要因**
5. 地球温暖化防止に対する**世界の取り組み**
6. 地球温暖化防止に寄与する**ゴルフ場**

# 過去50年の世界の平均気温平年差



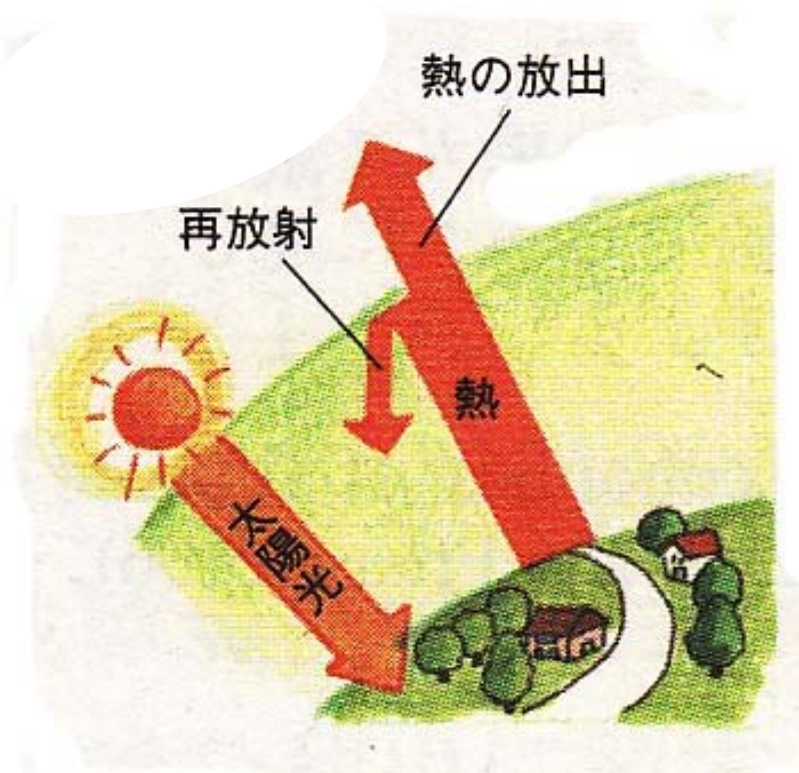
注 1 赤は、1850年以降も温暖な12年を示す。

2 平年差は、平年値（1971年～2000年の30年平均）からの差を示す。

出典：気象庁データより環境省作成

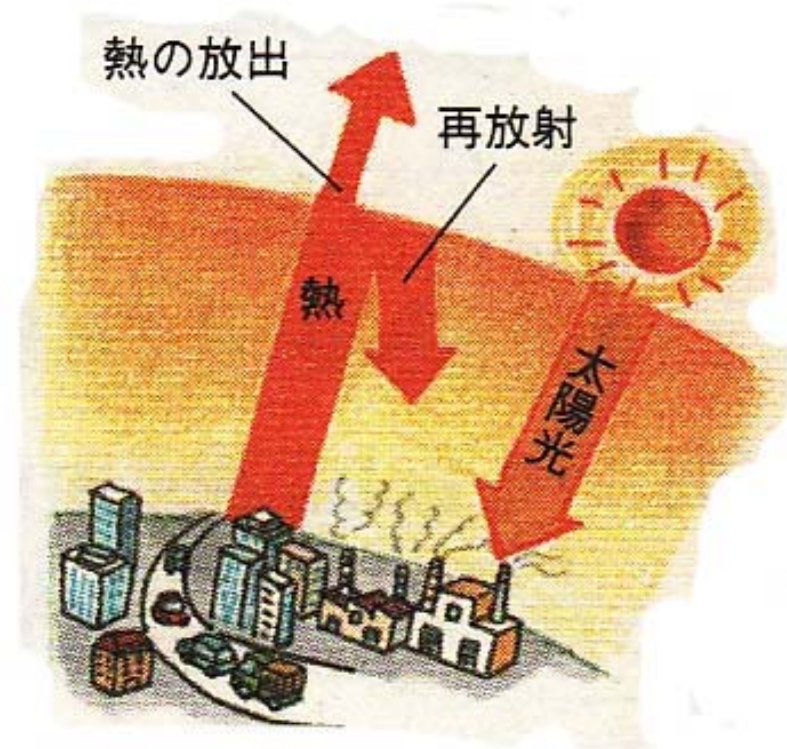
# 地球温暖化のメカニズム

温室効果ガス濃度が  
産業革命以前の水準



平均気温 15°C前後

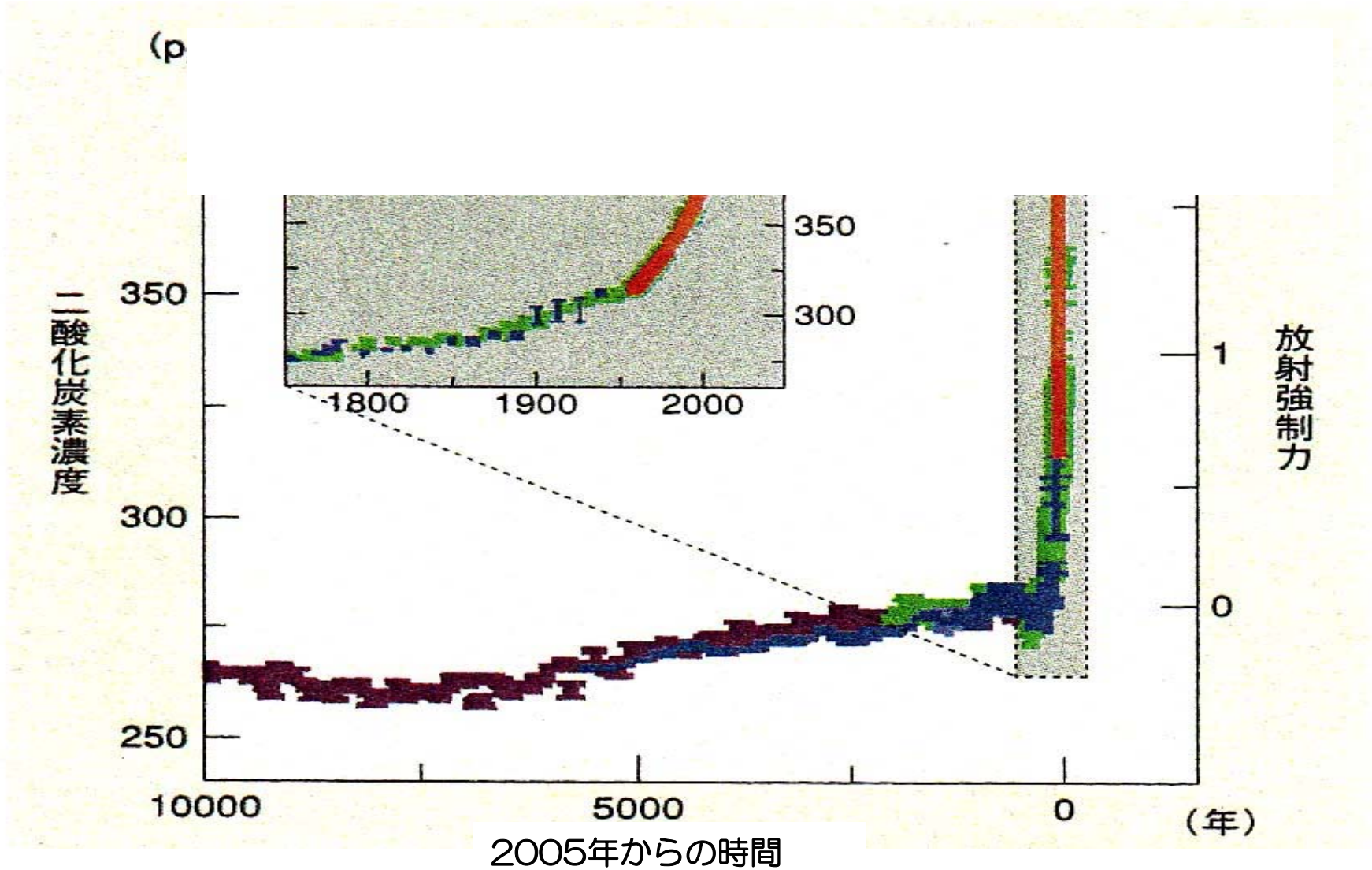
温室効果ガス濃度の上昇



気温の上昇



# 氷床コア観測と現代の観測による二酸化炭素濃度の変化

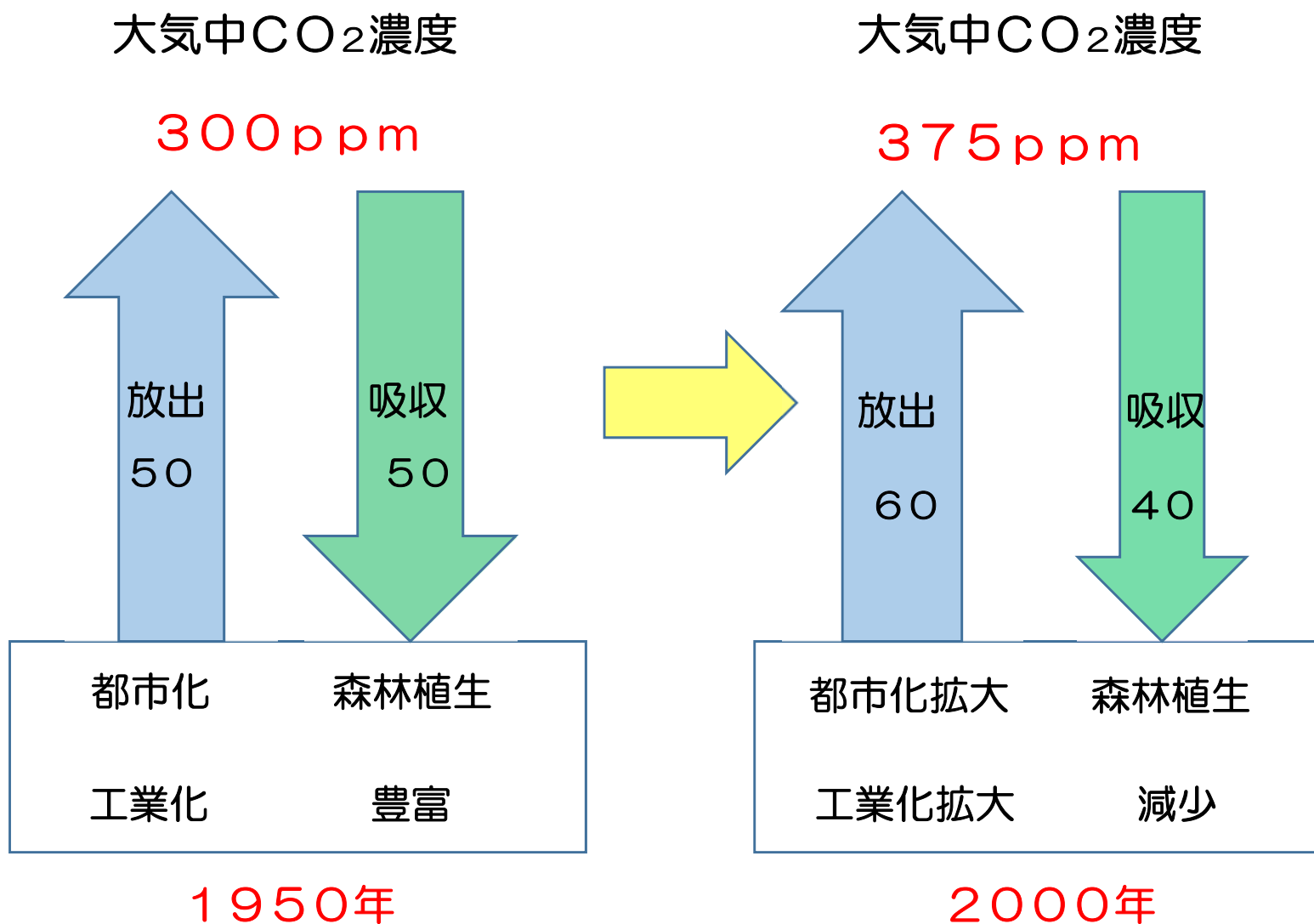


出典：IPCC第4次評価報告書 第一作業部会報告書

# 温室効果ガスの種類と実態

ガスの種類	大気中の増加比	温暖化の効果	存在量	オゾン層への影響
二酸化炭素 (CO <sub>2</sub> )	+ 40%	1	136.0億トン	-
メタン (CH <sub>4</sub> )	+ 150%	20 - 25	51.5	+
一酸化二窒素 (N <sub>2</sub> O)	+ 20%	300	1.1	+++
ハロゲン類	希少	-	希少 +	+++

# 大気中の二酸化炭素濃度上昇の概念図



# 地球温暖化問題における京都議定書、パリ協定の位置づけ

## これまでの経過気候変動

1992年 国連で気候変動変動枠組条約採択（COP1）

1997年 京都議定書採択（1990年比-5%）

2005年 京都議定書発効（トップダウン方式）

（批准国：日本、EU、ロシアなど先進国,米国離脱）

2007年 パリ協定（2030年の排出を1990年並み）

2008～2012年 京都議定書実施期間（削減の実行）

2015年 パリ協定の批准

2016年 発効（批准国：国連加盟195か国中73か国）

2030年までの削減目標を各国が自主的に決めて努力する（ボトムアップ方式）

2017年 米国が離脱



# 京都議定書の目標達成計画内容（日本）

## 1、目指す方向

6%削減の確実な実行と地球規模での削減

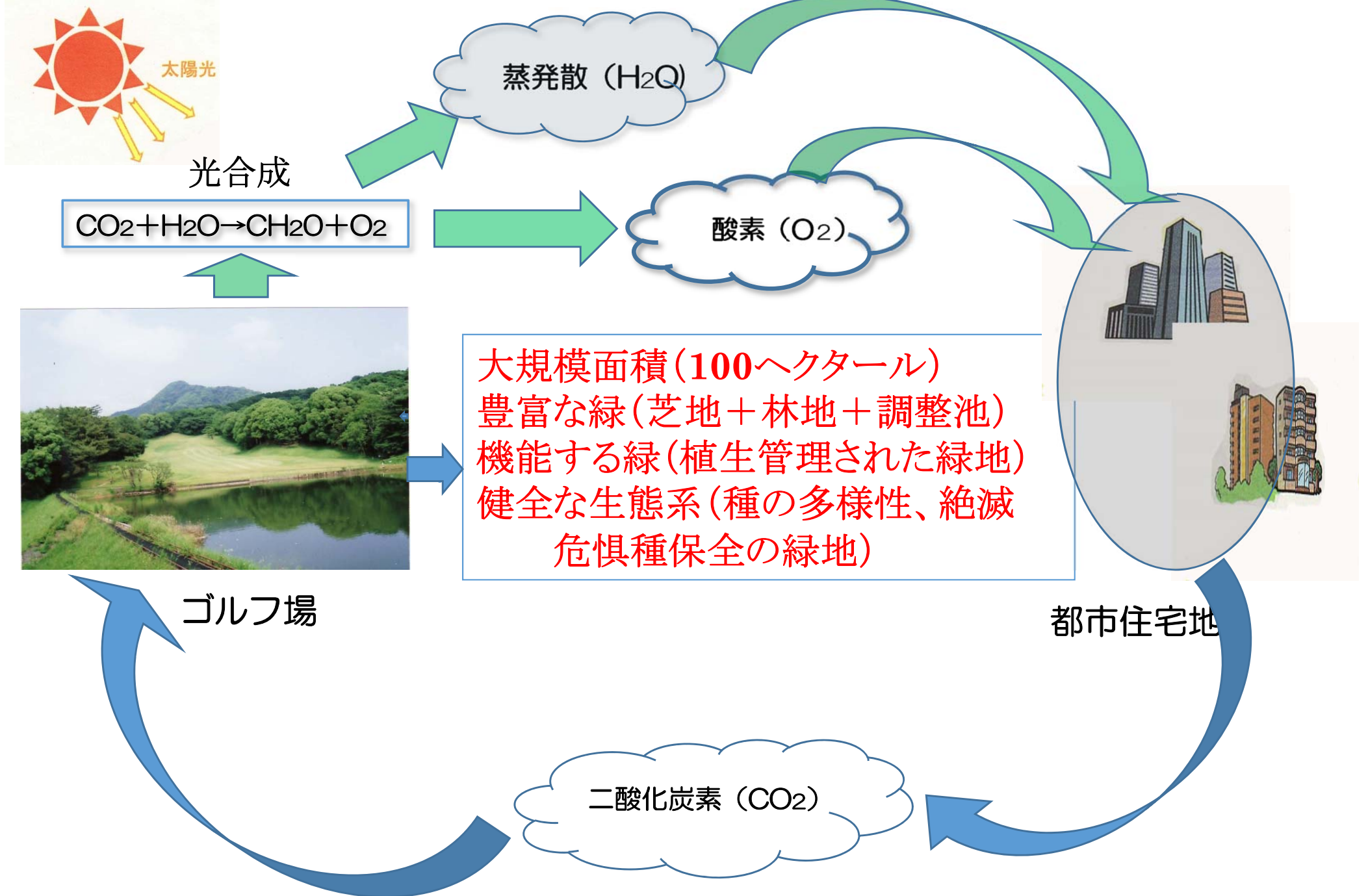
## 2、基本的考え方

環境と経済の両立、技術革新の促進、国民運動

## 3、目標達成のための対策と施策

- 1) 温室効果ガスの排出削減（CO<sub>2</sub>、メタンなど）
- 2) 温室効果ガス吸収促進（森林の整備、森林づくり）
- 3) 再生可能エネルギー利用（太陽光、風力、バイオマス）
- 4) 温室効果ガスの回収（メタン、CO<sub>2</sub>の地下貯留）
- 5) 京都メカニズム（排出量取引の推進）

# 大気の浄化と温暖化防止に寄与するゴルフ場



## 公益性が高いゴルフ場

- 1) 大気の浄化、温暖化防止、気象緩和に貢献
- 2) ゴルフスポーツによる国民健康の増進
- 3) 過疎化地域の活性化に貢献
- 4) 防災への寄与貢献
- 5) 生物種の多様性、絶滅危惧種保全に貢献

# 日本におけるゴルフ場の現状

(The Green Keepers 一季出版株 2015)

項目	平成27年 (2015)	昭和59年 (2008)	比率 (%) (2015/ 2008)
ゴルフ場数	2 2 7 6	2 6 0 0	87.5
ゴルフ場 緑地面積	25.1 万ヘクタール	2 7 万ヘクタール	92.6
芝地面積	14.5万ヘクタール	11.1万ヘクタール	1.31
林地面積	9.6万ヘクタール	14.8万ヘクタール	0.65

# ゴルフ場は山麓 丘陵地帯に多い

表1. ゴルフ場の周辺の土地利用

	森林	里山	田畑	住宅地	河川・湖	その他
全国平均	59.7%	10.1%	12.5%	8.1%	4.6%	5.0%

表2. 標高別ゴルフ場数比率

標高 m	0~ 100	101~ 200	201~ 300	301~ 400	401~ 500	501~ 600	601~ 700	701~ 800	801~
比率	39%	23%	13%	5%	7%	4%	4%	1%	4%



生物多様性の保全是地球規模の大きな課題です

# 豊かな生物多様性を持つ ゴルフ場

環境と人にやさしいゴルフとゴルフ場 Report 2009

ゴルフ場で確認された絶滅危惧種



キコチョウ



カカウミ



キクラシ



社団法人ゴルファーの緑化促進協力会  
日本ゴルフ場支配人会連合会

太平洋クラブ倶楽部コース  
平成21年度「みどりの日」自然環境功労者顕彰大賞表彰状

# ゴルフ場で確認された絶滅危惧種

動物				植物			
哺乳類	鳥類	昆虫	魚類	広葉樹	果樹	花	その他
1	15	6	4	8	1	1	6
動物合計 26				植物合計 16			

資料：環境と人にやさしいゴルフとゴルフ場 Report2009より



# ゴルフ場の動植物・昆虫 ④



エナガ



カワセミ



ハクセキレイ



メジロ



# ゴルフ場の動植物・昆虫 ③



フクロウ



カワセミ



カモの卵



バン

# ゴルフ場における植生管理の重要性

日本列島は多雨気候に属し、極相は森林で、森林化（遷移）が進行する。森林化を阻止し、芝地を維持するためには植生管理が重要である。

- 1) 植生遷移の阻止
- 2) 光合成効率の増進
- 3) 土壌環境の改善
- 4) ゴルフ競技場の質的改善
- 5) コース景観の維持、創出



# 緑色植物の本質は光合成作用 と蒸散作用

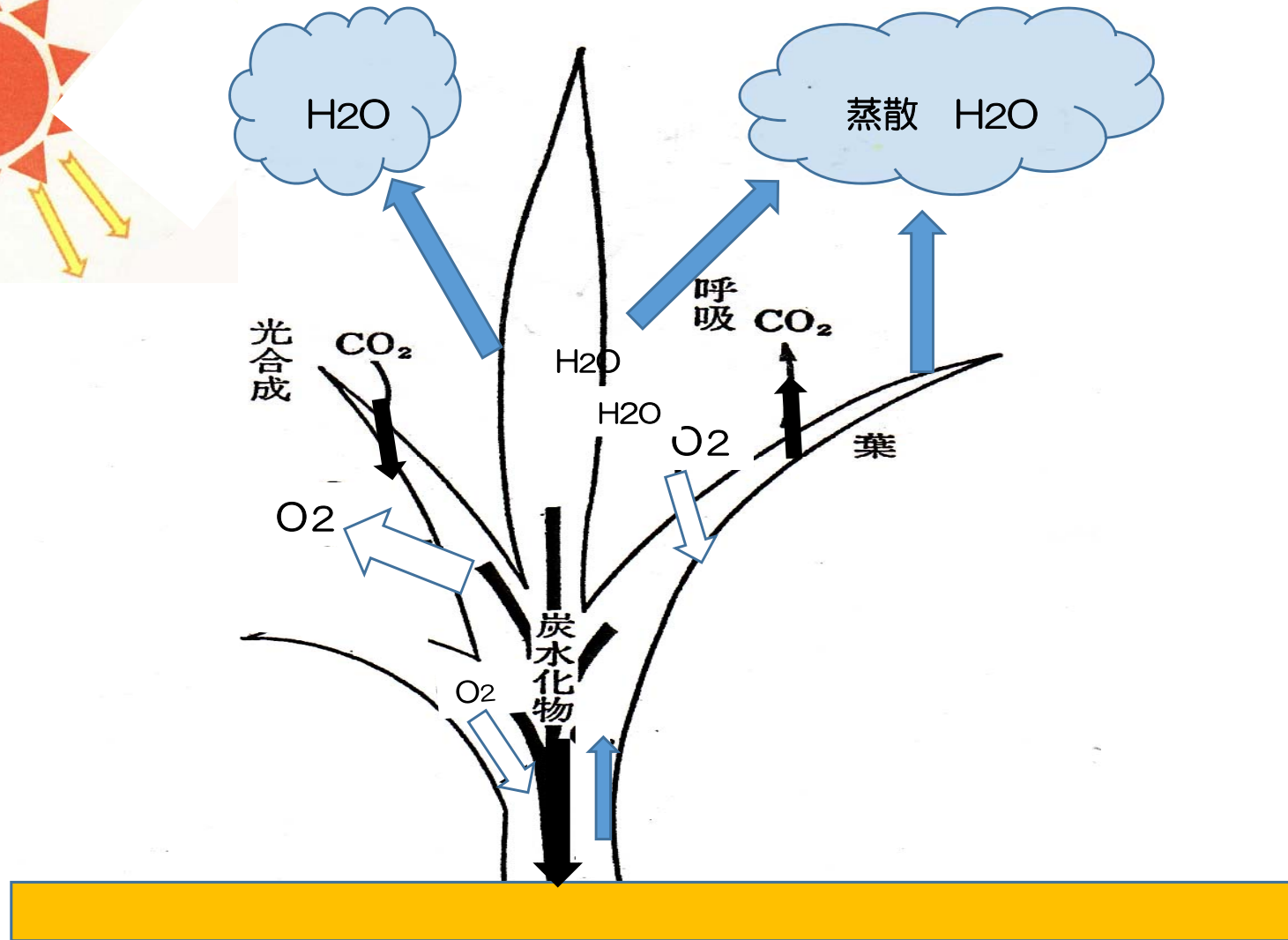
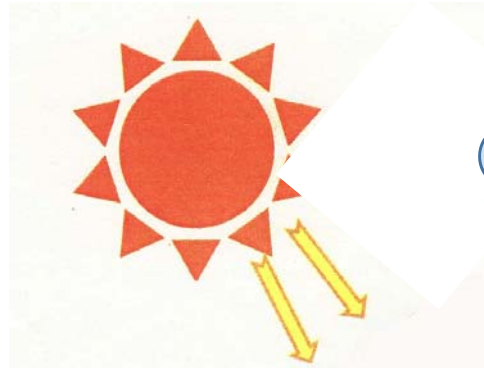
## 光合成作用

- 1) バイオマスの生産
- 2) 大気の浄化
- 3) 温暖化防止

## 蒸散作用

- 1) 温湿度環境の制御

# 緑の主役は光合成・蒸散作用

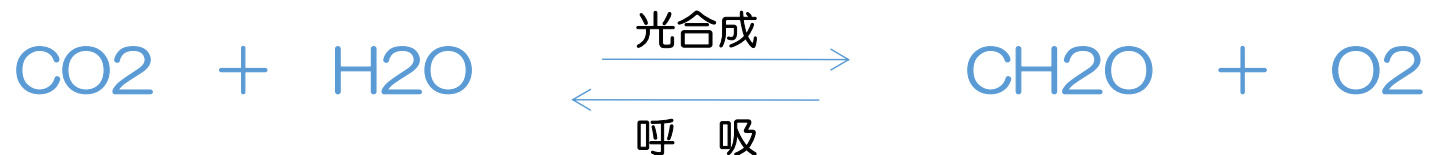


有機物から二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)、酸素 (O<sub>2</sub>)、

蒸発散量 (H<sub>2</sub>Oの算出方法

純生産量 (生長量) = 総生産量 - 総消費量

真の光合成量 = 粗光合成量 - 総呼吸量



\* CO<sub>2</sub>/CH<sub>2</sub>O = 1.467

\* O<sub>2</sub>/CH<sub>2</sub>O = 1.07

\* 蒸発散量は、要水量を基準とした。要水量は植物が有機物 1 g を生産する場合に必要な水量で、平均値である 375g を採用した。

# 地域別森林植生の純生産量の基準値

地域名	基準値 * (Kg/ha/日)
北海道	46.4
東北・中部	45.9
関東～九州	46.6
沖縄	49.6

\* 基準値は、地域ごとに自生する表1の森林型の平均値

北海道：森林型 1 + 2 + 3 / 3

東北・中部：1 + 2 + 3 + 4 + 5 / 5

関東～九州：4 + 5 + 6 / 3

沖縄：森林型6単独

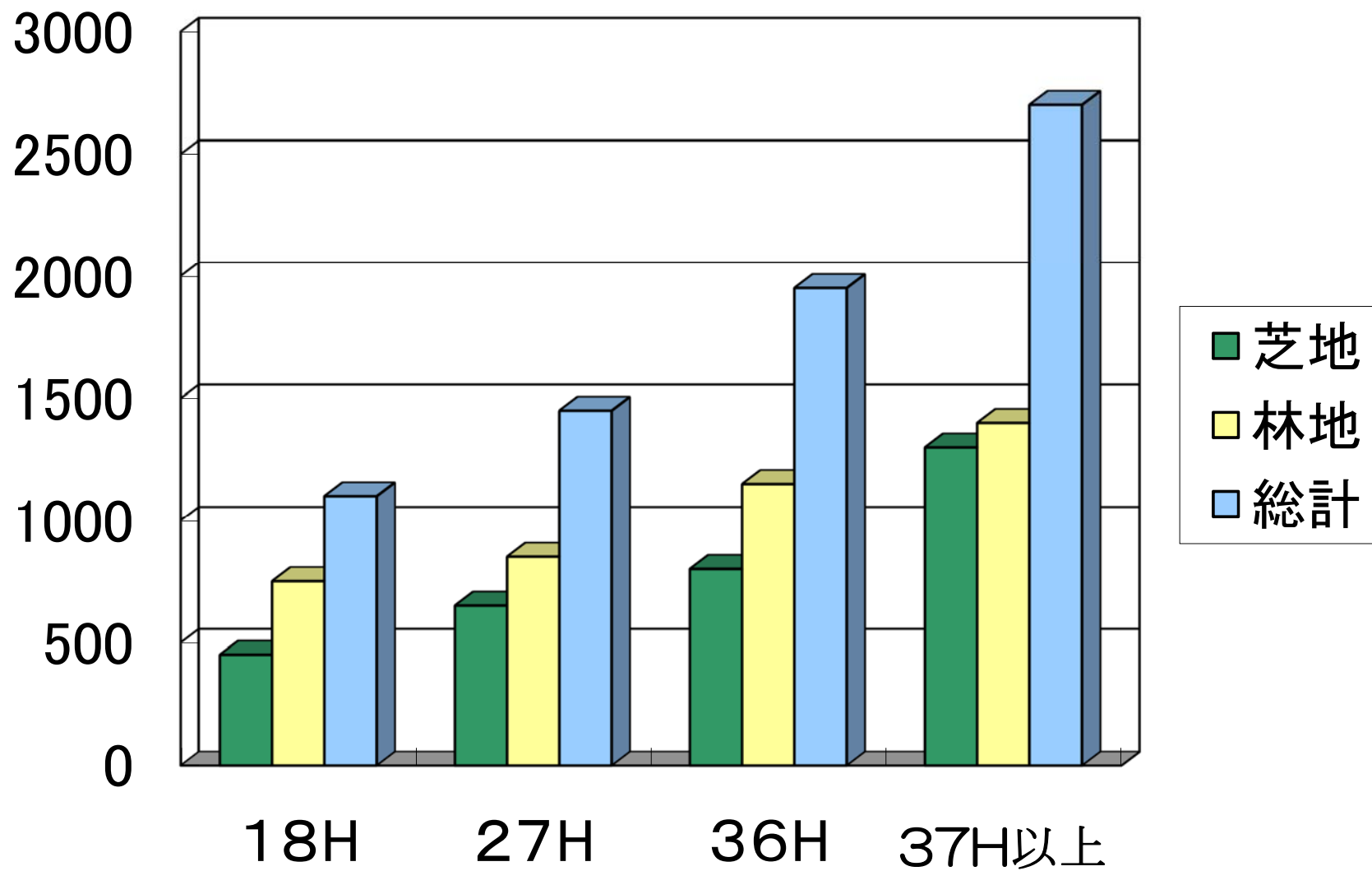
## 芝地の純生産量の基準値

用途別芝地	日純生産速度 Kg/ha/日
ラフ	37.0
フェアウェイ	55.5
ティー	55.5
グリーン	74.0



# ゴルフ場の規模別、植生別有機物生産量の比較

乾重トン/年

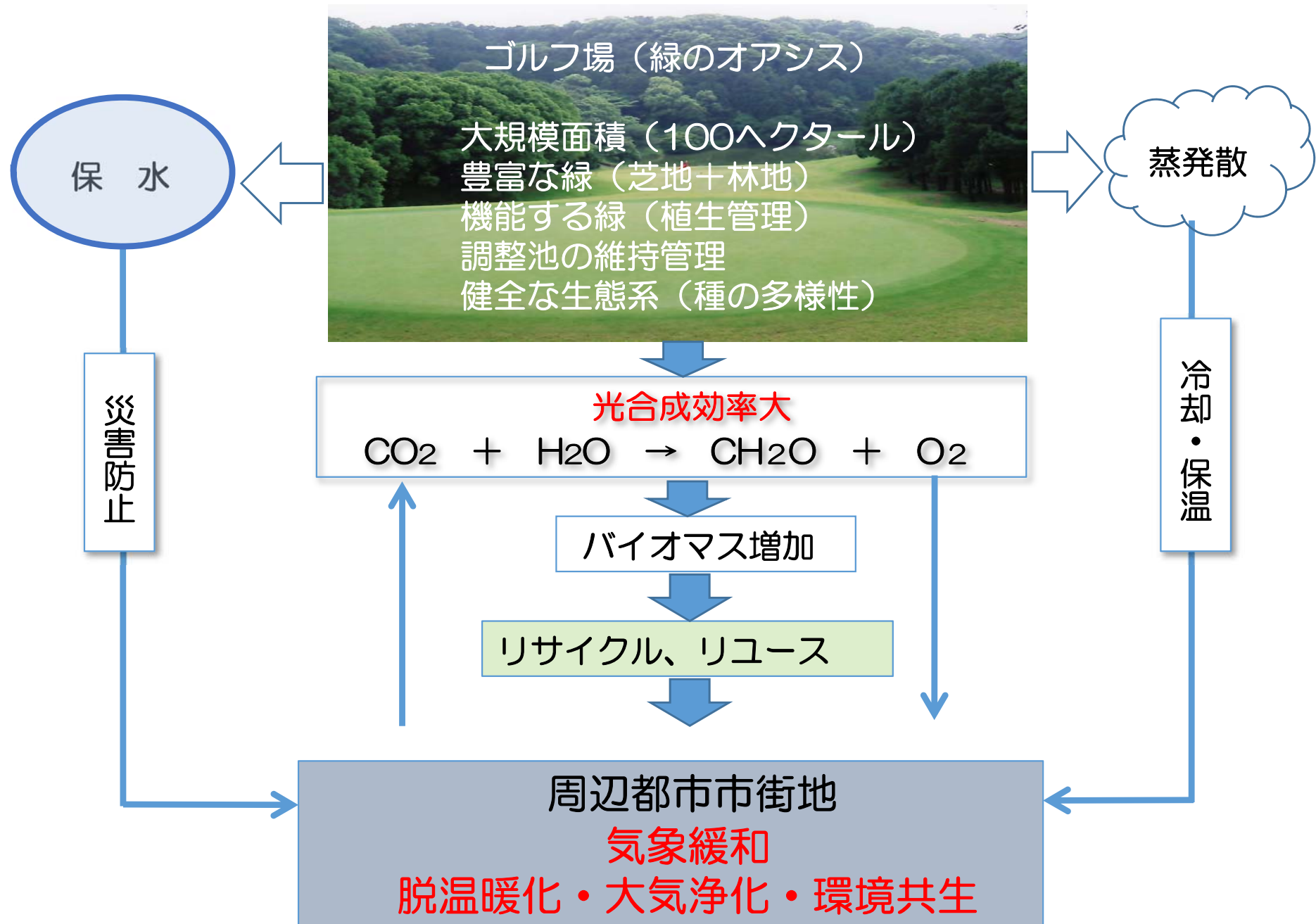


わが国の全ゴルフ場におけるバイオマス量、吸収CO<sub>2</sub>量、発生CO<sub>2</sub>量、蒸発散量、換算電力量、電力消費世帯数、CO<sub>2</sub>吸気可能人口 (平成27年)

1.	バイオマス生産量	281.0	万トン
	芝地	139.8	万トン
	林地	141.2	万トン
2.	吸収CO <sub>2</sub> 量	411.4	万トン
3.	発生CO <sub>2</sub> 量	300.2	万トン
4.	蒸発散水量	10.5	億トン
5	換算電力量	98.61	億kWh
	電力消費世帯数	206.61	万戸
6.	吸気可能人口	1095.18	万人

(ゴルフ場の樹木管理に関するアンケート結果報告書：  
社公 ゴルファ―緑化促進会 平成27年)

# 環境改善に貢献するゴルフ場



# ゴルフ場の営業、コース管理に おける二酸化炭素の排出と吸収 (ゴルフ場のCO<sub>2</sub>収支)



# ゴルフ場における二酸化炭素の吸収・排出源の分類リスト

## 1. CO<sub>2</sub>吸収源（バイオマス生産）

- 1) 芝地植生
- 2) 樹林地植生
- 3) 調整池植生

## 2. CO<sub>2</sub>排出源

- 1) 営業部門（施設の維持管理、従業員、ゴルフカー、カートなど）
- 2) コース管理部門（肥料、農薬、灌水、管理機械、従業員など）

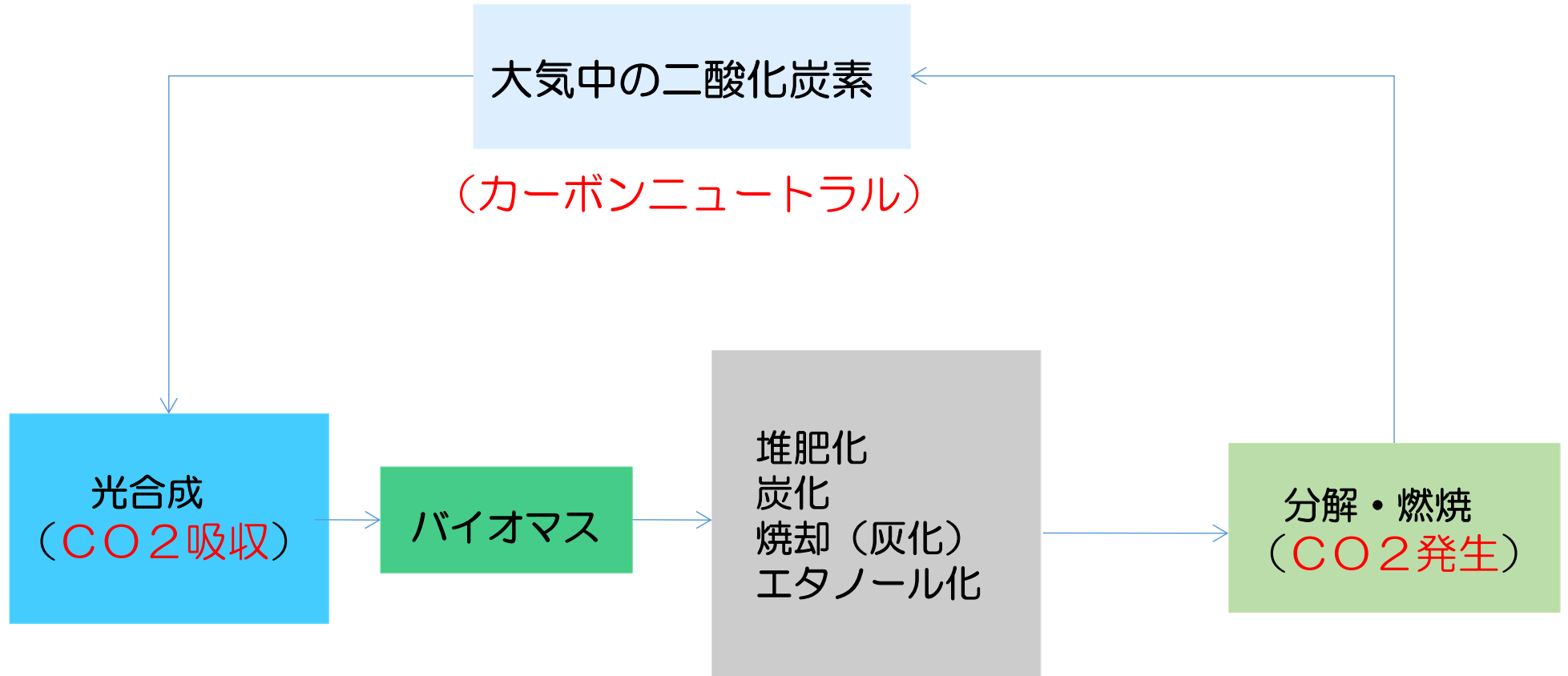
### 3) バイオマス（カーボンニュートラル）

刈芝、落葉、整枝、間伐材、食品廃棄物など

（バイオマス：植物由来の有機物資源で化石資源を除いたもの）



# バイオマスを介しての二酸化炭素の循環



# ゴルフ場における二酸化炭素排出源の分類

## 1. 直接排出源となるもの

- 1) 燃料：ガス、重油、軽油（含むガソリン）灯油など
- 2) 呼気：従業員、（ハウス、コース、キャディ）ゴルファー

## 2. 間接排出源となるもの

- 1) 施設の維持管理（電力、上水道、下水道、カートなど）
- 2) コース管理（肥料改良資材、農薬資材、管理機械など）

## 3. バイオマス（リサイクル、リユース、カーボンニュートラル）

- 1) ゴルフ場内処理（堆肥化、炭化、焼却（灰）し、芝地や林地へ有効利用）
- 2) ゴルフ場外処理（公共施設での焼却、堆肥化、バイオエタノール化による燃料利用）

表1. 平均植生別面積と純生産量（バイオマス）、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）吸収量、酸素（O<sub>2</sub>）発生量及び蒸発散量（H<sub>2</sub>O）

（兵庫県内18H 48クラブ対象 2008）

（西日本ゴルフ場支配人連合会 第45回幹事会環境問題部会資料より作成）

植生	面積		純生産量		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
	ha	比率	トン	比率	トン	トン	万トン
芝植生地	40.9	41.0	445	35.4	654	476	16.69
ラフ	25.7	25.8	228	18.1	335	244	8.55
フェアウェイ	12.5	12.5	167	13.3	245	179	6.26
ティー	1.2	1.2	16	1.3	24	17	0.60
グリーン	1.4	1.4	32	2.5	47	34	1.20
ナーセリー	0.1	0.1	2	0.2	3	2	0.08
樹林植生地	56.1	56.3	810	64.4	1188	867	30.38
調整池	2.7	2.7	3	0.2	4	3	0.11
植生地総計	99.7	100%	1258	100%	1846	1346	47.18

表2. 二酸化炭素の直接排出源と排出量、比 (兵庫県内18H.48クラブ対象)

排出源	使用実績量 (単位量)		単位排出 (CO <sub>2</sub> 量)		実排出 CO <sub>2</sub> 量 (トン)	比率
<b>1. 直接排出源 (燃料)</b>						
ガス	17.5	千m <sup>3</sup>	2.15	T-CO <sub>2</sub> /ト	37.6	9.8
重油	57.7	m <sup>3</sup>	4.24	T-CO <sub>2</sub> /ト	244.6	63.9
軽油	37.6	m <sup>3</sup>	2.31	T-CO <sub>2</sub> /ト	86.9	22.7
灯油	0.4	m <sup>3</sup>	4.13	T-CO <sub>2</sub> /ト	1.7	0.4
燃料小計					370.8	96.8
<b>2. 直接排出源 (呼気)</b>						
コースマン	2.9	万時間	41.7	CO <sub>2</sub> g/時間	0.9	
ハウスマン	4.0	万時間	41.7	CO <sub>2</sub> g/時間	1.3	
レストラン	3.0	万時間	41.7	CO <sub>2</sub> g/時間	1.0	
キャディ	4.6	万時間	41.7	CO <sub>2</sub> g/時間	1.5	
プレーヤー	23.2	万時間	41.7	CO <sub>2</sub> g/時間	7.4	
呼気小計					12.1	3.2
総計					382.9	100.0

(資料出所：表1に同じ)

# 表3. 二酸化炭素の間接排出源と平均排出量比

(兵庫県内18H 48クラブ対象)

間接排出源	使用実績量	単位排出量	実績排出量	比率
	(単位量)	CO <sub>2</sub> -t/百万円	CO <sub>2</sub> トン	%
電力	12.6百万円	22.437	282.7	54.0
上水道	2.8百万円	2.216	6.2	1.2
下水道	0.2百万円	7.629	1.5	0.3
肥料資材	4.6百万円	8.233	37.0	7.3
農薬資材	11.1百万円	5.052	56.1	10.8
機械類	35.7百万円	3.746	133.7	25.8
<b>総 計</b>			<b>518.2</b>	<b>100.0</b>

(資料出所：表1に同じ)

表4. 排出源別二酸化炭素の排出量と植生吸収量に対する比率

CO <sub>2</sub> 排出源	CO <sub>2</sub> 排出	比率	対吸収量比
	排出、吸収量 (トン)	%	%
直接排出源 (燃料、呼気)	383	42.5	20.5
間接排出源 (電力、資器材 など)	518	57.5	27.8
総排出量 (CO <sub>2</sub> )	901	100.0	48.3
総吸収量 (CO <sub>2</sub> ) 芝地、林地の光合成による)	1864		100.0

営業・管理

排出(CO2)

バイオマス

吸収(CO2)

純生産量

		対吸収比
直接排出量	387 トン	(21%)
間接排出量	518 トン	(28%)

1846 トン  
(100%)

1258 トン

廃棄バイオマス  
445 トン

蓄積バイオマス  
813 トン

総排出量 901 トン  
(49%)

換算CO<sub>2</sub>量

654 トン  
(35%)

1192 トン  
(65%)

抑制・節減

リユース・リサイクル

成長  
(芝・樹木)

蓄積  
(土壌)

エコ対策：節電、節水、省資源  
(従業員、ゴルファーの意識改革)

CO2収支

1846
- 901
-----
+ 945 トン

生態系のエネルギー源  
地力培養、水涵養浄化  
生物種の保全・多様化

ゴルフ場における二酸化炭素の吸収量と排出量の収支概要  
(兵庫県内、18H、48クラブのデータより)

# 今後のエコ対策への取り組み

## 1. 節電対策

- 1) こまめな消灯、節電型照明への変換、省電力空調設備への更新と温度規制
- 2) デマンド契約、省電力システム導入
- 3) 深夜電力利用（給湯システム、電動カート）
- 4) 太陽光発電（ソーラーパネル）の利用
- 5) ドア開閉の協力
- 6) チーム・マイナス6%への参加



# 今後のエコ対策への取り組み

## 2. 節水対策

1) 節水器具取付

2) 漏水箇所配管の取替

3) 節水の協力依頼（ポスター、呼びかけ）

4) 井戸水、池水、山水の利用（コース管理、水洗トイレ）

5) 厨房、浴場、洗面、トイレの節水管理の徹底（節水器具の導入と意識改革）

# ゴルフ場のカーボンフットプリント の現状

- 1) カーボンフットプリントは、**製品・サービスの製造から廃棄、再利用に至る全過程におけるCO<sub>2</sub>の環境負荷への見える化（可視化）の指標。**
- 2) 環境負荷の指標としてライフサイクル分析法（**LCA**）が採用されている。
- 3) ゴルフ場のLCAによるCO<sub>2</sub>の見える化を提示されたのは**齋藤修氏の研究著書**である。

（余剰ゴルフ場、一季出版、**2015**、28－41）

# ゴルフ場のカーボンフットプリントの試算例

## 齋藤氏の試算

## 兵庫県内18H 48クラブ

1) CO<sub>2</sub>排出量 **916 トン**  
建設。造成 38.4%  
管理運営 26.7%  
交通関係 34.9%

1) CO<sub>2</sub>排出量 **905 トン**  
直接排出量 21.0%  
間接排出量 28.0%

2) CO<sub>2</sub>吸収量 **565 トン**  
林地植生 43.2%  
(残地林 + 植栽林)

2) CO<sub>2</sub>吸収量 **1846 トン**  
芝地植生 35.4%  
林地植生 64.5%

3) CO<sub>2</sub>収支 **-361 トン**

3) CO<sub>2</sub>収支 **+941 トン**

# 18 Hゴルフ場におけるカーボンフットプリント

## 齋藤氏の試算

1. CO2排出量トン	
造成・建築	370
管理運営	288
交通	258
合計	916

2. CO2吸収量トン	
林地	565

3. (2 - 1)	-351
芝地分補充	+653

4. 補充結果 (CO2収支)	+302
--------------------	------

## 兵庫県・48クラブ

1. CO2排出量トン	
造成・建築	370
間接	518
直接	387
合計	1275

2. CO2吸収量トン	
芝地+林地	1846

(2 - 1)	+571
交通分補充	-258

+313
------

# まとめ

ゴルフ場の造成、クラブハウスの建設、営業運営、芝地、林地を含めたコース管理、ゴルフアーの交通等のCO<sub>2</sub>排出を配慮したカーボンフットプリントによる解析検討の結果、

1) ゴルフ場のCO<sub>2</sub>収支は排出量以上に緑の植生による吸収量が勝ることが明らかになった。

2) 従って、ゴルフ場は大気の浄化、温暖化防止に寄与していると結論できる。

3) 広大で豊富な緑、植生管理による機能する緑のゴルフ場は健全な生態系が成立し、生物種の多様性、絶滅危惧種の保全に貢献している

4) ゴルフ場の植生管理は、周辺地域の大気の浄化、気象緩和、防災、治水に貢献している。

## 緑による下水資源の回収と環境改善の提案

下水道・水面栽培学・光合成研究会 会長 縣 和一

### 1. 我が国における下水処理の現状

2017年度における我が国の下水道処理施設は、2000ヶ所に及び、年間150億トンの処理水が河川や内海に放出されている。処理水中には有益な資源であるチッソ、リン、カリなど植物の生育に不可欠な成分がチッソで26万トン(国内生産肥料成分量の1/2)、リンで6万トン(1/4)、カリで12万トン(1.8倍)含まれている。こうした成分は下水処理基準に沿って二次処理された下水中に存在し放流されるが、現実には、莫大な処理水だけに放流される水域環境の富栄養化をもたらしている。戦前、戦後を通じて我が国農業の肥料として水田、畑に還元活用されてきた下肥が現在ではすべて水洗トイレの普及によって下水処理施設に集められ、集中的に河川、内海に放流されているのが現状である。こうした貴重な肥料資源は、空中チッソを活用するチッソ肥料以外、リン酸肥料はリン鉱石、カリ肥料はカリ鉱石を輸入して肥料が製造利用されてきた。問題は、世界的に両鉱石資源が残り少なくなってきたことである。近い将来リン、カリ肥料の不足による農業生産物の低収による食料不足、高騰が危惧される。

さらに最近、下水施設の二次処理水中のチッソ、リンによる直接の環境汚染、富栄養化を軽減するための手段として高度処理(三次処理)技術が導入されつつある。高度処理は現状の活性汚泥法による二次処理下水中のチッソ、リンの排出濃度を半減させる処理技術である。その要点はチッソの半分削減を気化、残存チッソとリンの削減は沈殿材による汚泥化である。これにより放流水域の富栄養化は軽減されるとみられるが、問題は、汚泥攪拌中に気化する酸化二窒素( $N_2O$ )による大気温暖化の促進とチッソ、リン、カリ含有の大量汚泥の産出である。両処理とも電気代、沈殿資材、攪拌、汚泥処理に要する費用は莫大な上に、汚泥の燃焼による大量の酸化二窒素、メタン、二酸化炭素の発生は大気の汚染を通じて地球の温暖化を促進している。因みに酸化二窒素の温暖化促進能力は二酸化炭素の310倍である。またオゾン層を破壊する物質としてフロン、メタン同様に危険な物質である。以上から高度処理は、下水資源の有効回収利用による水域環境改善のための総合的、根本的な解決策技術ではなく、大気の汚染、地球温暖化の促進、オゾン層の破壊に通じる一大要因になりつつあるところに緊急に対処せねばならない問題点が存在している。

### 2. 緑(植物)による下水資源の回収の合理性(意義)

光合成を営む緑色植物は、太陽からの光エネルギーを化学エネルギーに変換し、そのエネルギーを使って養水分を吸収し、バイオマス(有機物)を生合成する唯一の生物である。地球上の微生物、動物の生命活動はすべて植物によって合成された有機物に依存している。植物は光合成と蒸散作用を通じて大気の浄化(二酸化炭素の吸収、酸素の放出)

と養水分の吸収、大気湿度の調整に貢献している。下水処理水を利用して緑色植物を栽培すると、下水中の養分は植物によって吸収浄化される。生産されたバイオマスを収穫利用することで資源のリサイクルが可能となる。同時に大気の浄化、温湿度の調整に貢献できる。問題は処理水をどのように利用して植物を栽培するかである。水生植物は別として、バイオマス生産が高い多くの陸生植物は、根域が水分過剰の場合、湿害により栽培できないのが常識であった。ところが水面を利用した植物栽培法の研究から、根は水中にあっても生長点さえ水没させない限り多くの陸生植物の栽培は可能でバイオマス生産も高いことが明らかになった。

200種に及ぶ実験の結果、バイオマス生産が高く、下水資源の吸収効率が顕著に高い植物として数種の植物を選定することができた。中でもカヤツリグサ科のシュロガヤツリは常緑多年生の草本植物で、刈取再生によるバイオマス生産が高く、継続的な大気の浄化、下水資源の回収能力に優れ、収穫物の経済的利用価値も高いことが明らかになった。

### 3. 水面栽培植物による下水資源の回収と大気の浄化、制御

佐賀県浜玉町下水処理施設の活性汚泥法による二次処理水について、シュロガヤツリの水面栽培を行い、バイオマスの生産量、成分分析を基礎に下水資源の回収能力、大気浄化能力を試算した。その結果、①水面栽培によるバイオマス生産は、年間ヘクタール当たり換算で50トンになること、②年間下水資源からチッソ1.14トン、リン0.27トン、カリ4.32トン、シリカ1.92トンが吸収浄化されること、③年間にCO<sub>2</sub>が70トン吸収され、O<sub>2</sub>が51トン放出されるため大気が浄化されること、④年間1.9万トンの蒸発散水量により周辺大気の温湿度が制御されること等が明らかになった。加えて水面栽培植物の根域には塩素殺菌された二次処理水が放流されているにも関わらずテナガエビ、ツガニ、ハヤなど水棲動物が放流先の河川から遡上生活していることがわかった。さらに水面栽培植物の場合は、農業における野菜等の人工培養液循環制御による養液栽培法とは異なり、自然水域である池や河川の希薄な資源水の水面において栽培でき、バイオマス生産も高いので、当該水域の富栄養化の阻止、水質改善に貢献できることが明らかになった。

以上の結果から、緑色植物の水面栽培による下水資源の浄化法は、水面栽培用の水路面積さえ確保できれば大気環境の改善（温湿度、空気の浄化、温暖化防止）、河川、内海環境の改善（富栄養化、水生動物の増加、保護など水域生態系の改善）に貢献できる。現在の究極的な高度処理という物理化学的な下水浄化法では解決できない欠点を緑の水面栽培による三次処理によって環境汚染の要因を先送りするのではなく、根本的に解決する技術として早急に確立し、普及することが日本のみならず水洗化が進む世界及び水資源が少なく浄化による水の再利用を必要とする諸国にとって緊急に求められる最重要課題と考えられる。

#### 4. 水面栽培植物の活用方法とその意義

水面栽培植物による下水資源の吸収再利用のためには、生育旺盛でバイオマス生産が高く、経済的利用価値の高い資源植物が望ましい。200種に及ぶ実験植物から農作物も有望な候補植物となったが、改良された農作物は豊かな土壌養分（肥料成分）の下で生育良好となる特性のため下水道の希薄な養分下では生育の劣ることが判明した。これに対して改良が進まず半野生的な植物は希薄な養分から濃厚な養分域まで広範囲にわたり養分を吸収する能力の高いことがわかった。そこで養分吸収スペクトルが広く生育旺盛な生産力の高い植物であることを選択の第一とした。生育旺盛な植物はバイオマス生産が高く下水資源の吸収率が良く大気環境の浄化に貢献できるからである。第二は経済的利用価値の高い植物を選択基準にした。利用価値が高いバイオマスはリサイクルが可能で、経営的視点からみても有利である。第三には、下水資源の成分、食習慣、健康への影響を配慮すると食用作物類ではなく、工芸作物か花キ作物が最適と考えられる。第四には、常緑多年生で刈取再生可能な省力的栽培管理ができる植物であることである。以上の諸点を総合的に考え実施した研究結果から、カヤツリグサ科のシュロガヤツリが最適であると判断された。本植物は常緑多年生草本植物で草丈高く茎部は太く丈夫で倒伏せず、葉緑素を含み群落全体で光合成を営むため年間のバイオマス生産は大きいのが特徴である。工芸品として畳表、和紙、洋紙の原料に活用される他、炭化することで水質浄化、空気浄化、土壌改良、肥料など多様な経済的利用価値を有する。

#### 5. 福岡市における下水道水浄化の概要

福岡市民 150 万人の生活雑廃水は 7 か所の下水処理施設で浄化されて博多湾へと放流されている。浄化は活性汚泥法による二次浄化処理法が主体であるが、高度処理による三次処理施設も併用されている。7 浄化施設への平成 28 年度の下水道の流入量（放流量）と流入水中のチッソ、リン濃度及び放流水中のチッソ、リン濃度の平均値を基礎に 7 施設への年間の流入総チッソ量と総リン量、放流される両成分の総残量、両者の差異である両成分の総浄化量について概算した。その結果は以下の通りである。

- 1) 全浄化施設に流入（放流）される下水量：1 億 5639 万トン/年
- 2) チッソについて 流入量：3936 トン/年 （硫安 96000 袋分）  
放流量：1741 トン/年 （硫安 42463 袋分）  
浄化量：2195 トン/年 （硫安 53537 袋分）
- 3) リンについて 流入量：467 トン/年 （過石 11700 袋分）  
放流量：27 トン/年 （過石 675 袋分）  
浄化量：441 トン/年 （過石 11025 袋分）

#### 4) 酸化二窒素（N<sub>2</sub>O）について

活性汚泥法（二次処理）、三次処理によって気化浄化されるチッソ量は、31%で、



残り 69%のチツソは汚泥中に残存し、焼却時に気化される。いずれも大部分が酸化二窒素として大気中に放出される。活性汚泥法の処理時に気化する酸化二窒素の量は  $2195 \text{ トン} \times 0.31 = 680 \text{ トン}$  である。酸化二窒素は大気中では温室効果ガスとして機能し、その能力は二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) の 310 倍の能力があるので、 $680 \text{ トン} \times 310 = 21 \text{ 万トン}$  の温暖化ガスとして大気中で機能し、地球温暖化促進要因となる。さらに下水処理場に流入し、浄化されたチツソの中、酸化気化せず汚泥中に残存し、汚泥の燃焼処理時に発生する酸化二窒素量は  $2195 \text{ トン} \times 0.69 = 1515 \text{ トン}$  となる。この酸化二窒素は  $1515 \text{ トン} \times 310 = 47 \text{ 万トン}$  の CO<sub>2</sub> に匹敵する大気温暖化ガスになる。両者を合わせた 68 万トンの温暖化ガスが福岡市の全下水処理場から大気中に排出されることになる。また汚泥の全処理過程では地球温暖化に大きく影響するメタンガスの発生量も大きいことが指摘されている。酸化二窒素、メタンガスはともにオゾン層の破壊物質としても作用するので安全性の面からも危惧されるところである。

6. 以上から下水処理場におけるチツソ浄化の過程では、富栄養化効果の削減のために地球の温暖化、オゾン層の破壊を招く酸化二窒素の大量排出という解決すべき大きな課題が存在する。約 68 万トンに相当する CO<sub>2</sub> ガスを吸収除去するためには、松林で約 1000 ヘクタールの緑が必要である。また大気中に拡散した酸化二窒素の一部は降雨によって地上に降下し陸地や海洋の富栄養化をもたらす要因としても問題である。温暖化ガスである CO<sub>2</sub> の排出に関しては、二次処理、三次処理時の攪拌に要する使用電力が全下水浄化施設の 50%を占めるとの報告からも三次処理の高度処理過程を植物の水面栽培方式にすることが総体的に見て CO<sub>2</sub> 削減の賢明な手段と考えられる。
7. 以上の諸結果を総合して考えると、現状の下水浄化施設は、国連が提示した SDGs に応えられる技術であるのか疑問である。下水資源の有効活用ではなく、環境負荷の増大をもたらす点で理想的、根本的な環境浄化施設ということはできない。問題を先送りしているに過ぎない点、反省すべきである。現状の二次処理水中の有用な資源の活用を緑の植物を水面栽培し、バイオマスをリサイクルさせることで完結させることは可能である。水面栽培面積を確保し、バイオマス生産が高まれば二次、三次の環境問題を引き起こさず理想的な SDGs の下水処理施設が完成するものと信じ提案するものである。

# わが国における下水処理の現状

## 下水処理施設と処理水量（2017年）

1. 下水処理施設：2200ヶ所
  2. 年間処理水量：150億トン
- 1) 放流チッソ成分量26万トン（国内生産肥料成分量の1/2）
  - 2) 放流リン成分量6万トン（国内生産肥料成分量の1/4）
  - 3) 放流カリ成分量12万トン（国内生産肥料成分量の1.8倍）

上記肥料成分量は、下水処理基準に沿って活性汚泥法による二次処理された下水中に存在し

放流される水域環境の富栄養化をもたらしている。

近年これを軽減するために、高度処理（三次処理）技術が導入されつつある。三次処理はチッソの半分削減を気化、残存チッソとリンの削減は沈殿材による汚泥化である。攪拌気化と汚泥処理過程で大量の亜酸化窒素（N<sub>2</sub>O）、メタン、CO<sub>2</sub>が発生し大気汚染を通じて温暖化を促進させる。特に温室効果ガスとしてCO<sub>2</sub>の300倍の影響力をもつN<sub>2</sub>Oの大量発生は問題である。

## 福岡市における下水道浄化の概要と亜酸化窒素の排出量

市民150万人の生活雑廃水が7ヶ所の下水処理場で浄化され、博多湾に放流されている。（以下年間当たり）

1)放流下水量1.56 億トン中にチッソ1741 トン（硫安42463 袋分）  
リン 27 トン（過石 675 袋分）

2)下水処理中に発生する亜酸化窒素（N<sub>2</sub>O）

活性汚泥法（二次処理）、高度処理（三次処理）によって気化浄化されるN<sub>2</sub>O量は2195 トン。CO<sub>2</sub>換算：2195X300 =65.85 万トン。

3)二次、三次処理に要する使用電力は全施設運営電力の1/2 であることからCO<sub>2</sub>排出は莫大である。

4)全国の放流下水量中のN<sub>2</sub>Oについて

$65.85 \times 150 / 1.56 = 6332$ 万トン（約 190 億トンCO<sub>2</sub>相当）



## 緑（植物）による下水資源の回収と環境改善

### 水面栽培植物による下水資源の回収と大気の浄化、制御

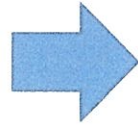
佐賀県浜玉町下水処理施設の活性汚泥法による二次処理水についてシュロガヤツリの水面栽培を行い、下水資源の回収能力と大気の浄化能力を検討した。（ヘクタール当たり）

1) 年間バイオマス生産量：50トン

2) チッソ吸収量：1.14トン

3) リン吸収量：0.27トン

4) カリ吸収量：4.32トン

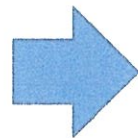


水質浄化

5) CO2吸収量：70トン

6) O2発生量：51トン

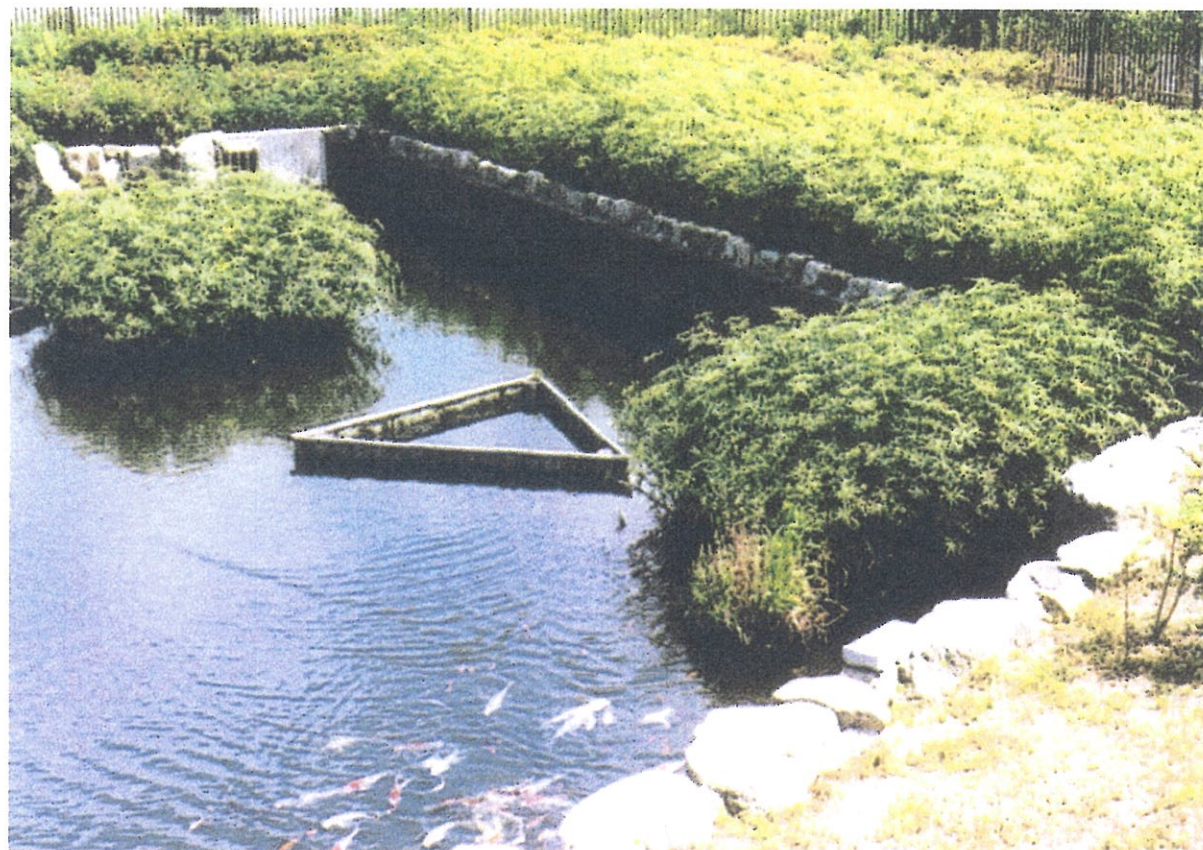
7) 蒸発散量：1.9万トン



大気浄化

8) 水面栽培面積さえ確保できれば、バイオマスの活用（製紙、炭化、堆肥など）により大気の浄化、水質浄化が有益にでき、物理化学的三次処理のような問題の先送りではなくすべてを根本的に解決できるSDGs技術である。

# 浜玉町浄化センター



浄化の進んだ池に泳ぐ錦鯉      バックは シュロガヤツリ





写真1 移植3か月後の生育状態（1996年11月25日）

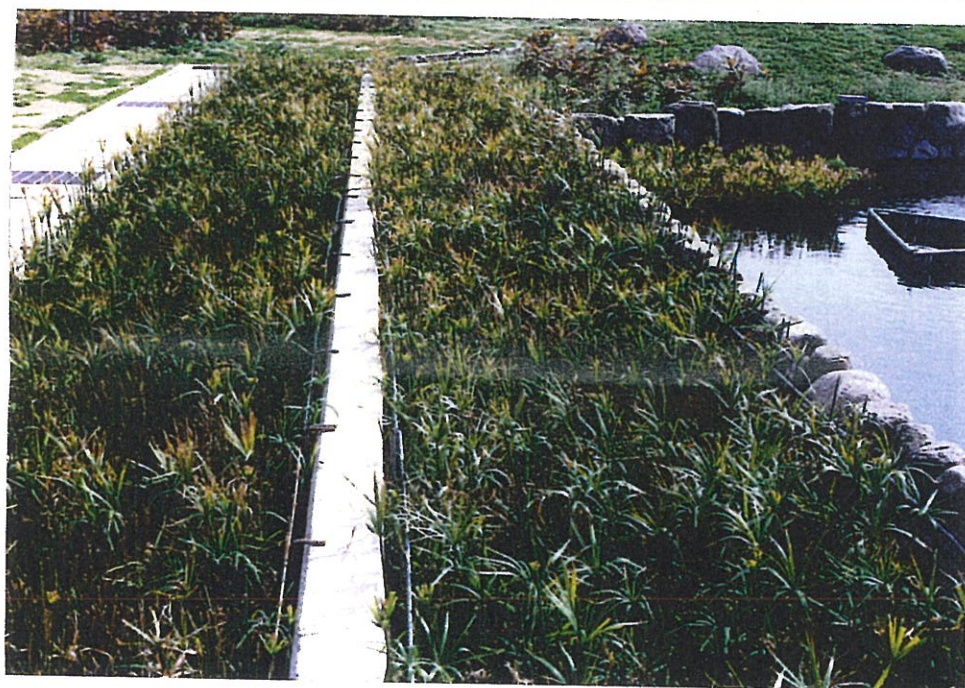


写真2 冬期における生育状態（1997年2月下旬）





写真3 春期における生育状態 (1997年5月下旬)



写真4 排水路及び修景池の全景 (1997年5月下旬)





③① 混植水面栽培における根の状況 (九州大学農学部)



③② 水面栽培したペレニアルライグラスの根 (九州大学農学部)



③③ コイによる水面栽培イネの根の食害 (左: プロテクト, 右: 非プロテクト)



③④ 水面栽培シュロガヤツリから作った和紙



③④ 水面栽培シュロガヤツリの根毛



③⑥ シュロガヤツリとホテイアオイの冬の生育状況