

「水で地球を冷やす」

瑞々しい生活環境へのイノベーション
(流体熱物性応用の視点から)

慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科教授 佐藤春樹

学部4年から水のPVT計測装置の製作に始まり、国際水・蒸気性質協会の会合に参加させてもらい、日本機械学会から「1999蒸気表」を出版するまでずぶ濡れの研究生生活でした。「蒸気表」は発電所の国際標準です。その後、自称不確かさ0.4%の液体定圧比熱装置の開発を含む代替フロン熱物性計測、状態式開発を行い、日本冷凍空調学会からJARefなど数冊の熱物性値集を出版しました。これらはJISなどの標準として役立っています。流体熱物性に関して最近、学生がより高精度な計測と理論を組み込むべく状態式開発を行っています。一方で、太陽熱利用の装置開発も行い、「海水淡水化装置」や「減圧沸騰パネルの応用」などの発明もしています。また最近、「省エネルギー技術戦略2007」の策定のお手伝いや学生の頃の願いであった「環境に調和する街づくり」をはじめ、地球温暖化防止に向けた活動も行っています。

- その1 地球温暖化の原因は本当に二酸化炭素だけか？
- その2 そんなにたくさん熱を捨てても大丈夫なのか？
- その3 人工的に低温で排熱する技術は可能か？
- その4 瑞々しい未来
- その5 コ・モビリティ社会の提案

今日の話-その1

地球温暖化の原因は本当に二酸化炭素だけか？
(現状認識)

原因を捉えて対応することは重要ですが
地球環境システムはもっと複雑と思います。

地球規模の環境問題と南極およびその周辺海域

西村 昭

(地質調査所、海洋地質部)

地質ニュース 452号、10 - 18頁、

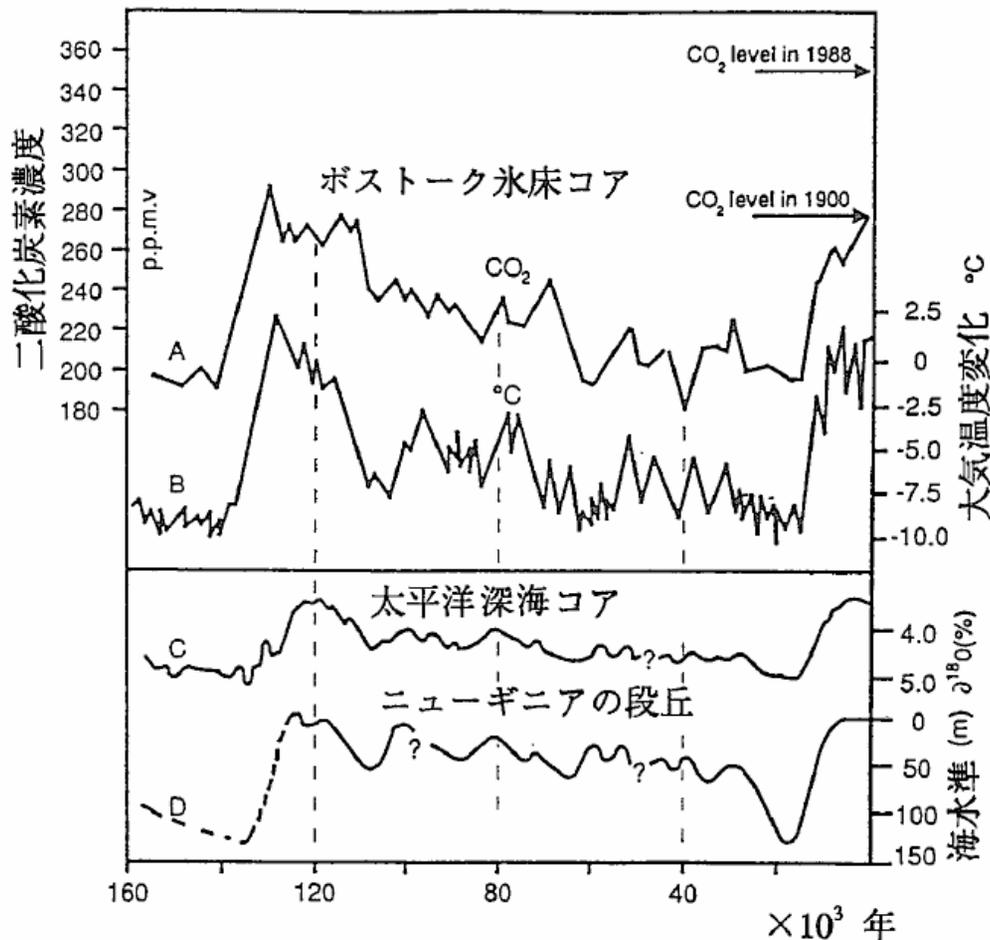
1992年4月

その他関連文献

Nature 357, 488 - 490 (11 June 1992)

<http://www.nature.com/nature/journal/v357/n6378/abs/357488a0.html>

よく見ると平均大気温度と太平洋深海コアの酸素同位体の変化に大きな時間の ± のずれがある。



第7図 ポストーク氷床コアの大気中の二酸化炭素濃度と温度の16万年間の変化 (Barrett, 1991).

赤道太平洋の酸素同位体変化カーブ (C) とニューギニアの段丘に記録された海面変動 (D) が比較のために示してある。

なぜこれ程相関性があるのか？ 様々な現象は温度が支配している平衡状態。

現在の大气中二酸化炭素濃度

(気象庁)

平成19年6月11日更新(平成20年6月頃更新予定)

QuickTime[®] C²
TIFF[®] à èk Ç» ÇµÁj êLiÉvÉçÉOÉâÉÄ
Ç™Ç±ÇÄÉsENE`ÉÉÇ¾¼â©ÇÉÇŽÇ½Ç...ÇÖiKónÇ-Ç ÅB

大气中の二酸化炭素濃度は着実に増え続けている

Is the Earth still recovering from the “Little Ice Age”?
A possible cause of global warming
– an updated version –

Revised May 7, 2007

Syun-Ichi Akasofu

http://www.iarc.uaf.edu/highlights/2007/akasofu_3_07/

地球温暖化は 大気中の二酸化炭素(化石燃料)だけが 原因でしょうか？

- 赤祖父俊一(あかそふ しゅんいち)

- 地球物理学者(オーロラの研究で有名)
- 1930年:長野県佐久市生まれ
- 東北大学を卒業後、アラスカ大学大学院を卒業
- 1976年:イギリス王立天文学会からチャップマン・メダルを受賞
- 1977年:日本学士院賞を受賞1964年から:アラスカ大学フェアバンクス校教授。
- 1998年に設立されたアラスカ大学国際北極圏研究センター(International Arctic Research Center of the University of Alaska Fairbanks)所長
- 現在:アラスカ大学北極圏研究センター 名誉所長・名誉教授

QuickTime[®] χ^2
TIFF[®] $\text{à} \text{è} \text{ç} \text{»} \text{ç} \text{µ} \text{À} \text{j} \text{è} \text{L} \text{í} \text{£} \text{É} \text{v} \text{ç} \text{É} \text{O} \text{É} \text{à} \text{É} \text{Ä}$
 $\text{ç}^{\text{TM}} \text{ç} \text{±} \text{ç} \text{Ä} \text{É} \text{s} \text{É} \text{N} \text{É} \text{`} \text{É} \text{É} \text{ç} \text{¾} \text{à} \text{©} \text{ç} \text{É} \text{ç} \text{z} \text{ç} \text{½} \text{ç} \text{...} \text{ç} \text{Ö} \text{i} \text{K} \text{ó} \text{v} \text{ç} \text{-} \text{ç} \text{ Å} \text{B}$

Variations of the Earth's surface temperature for the past 140 years

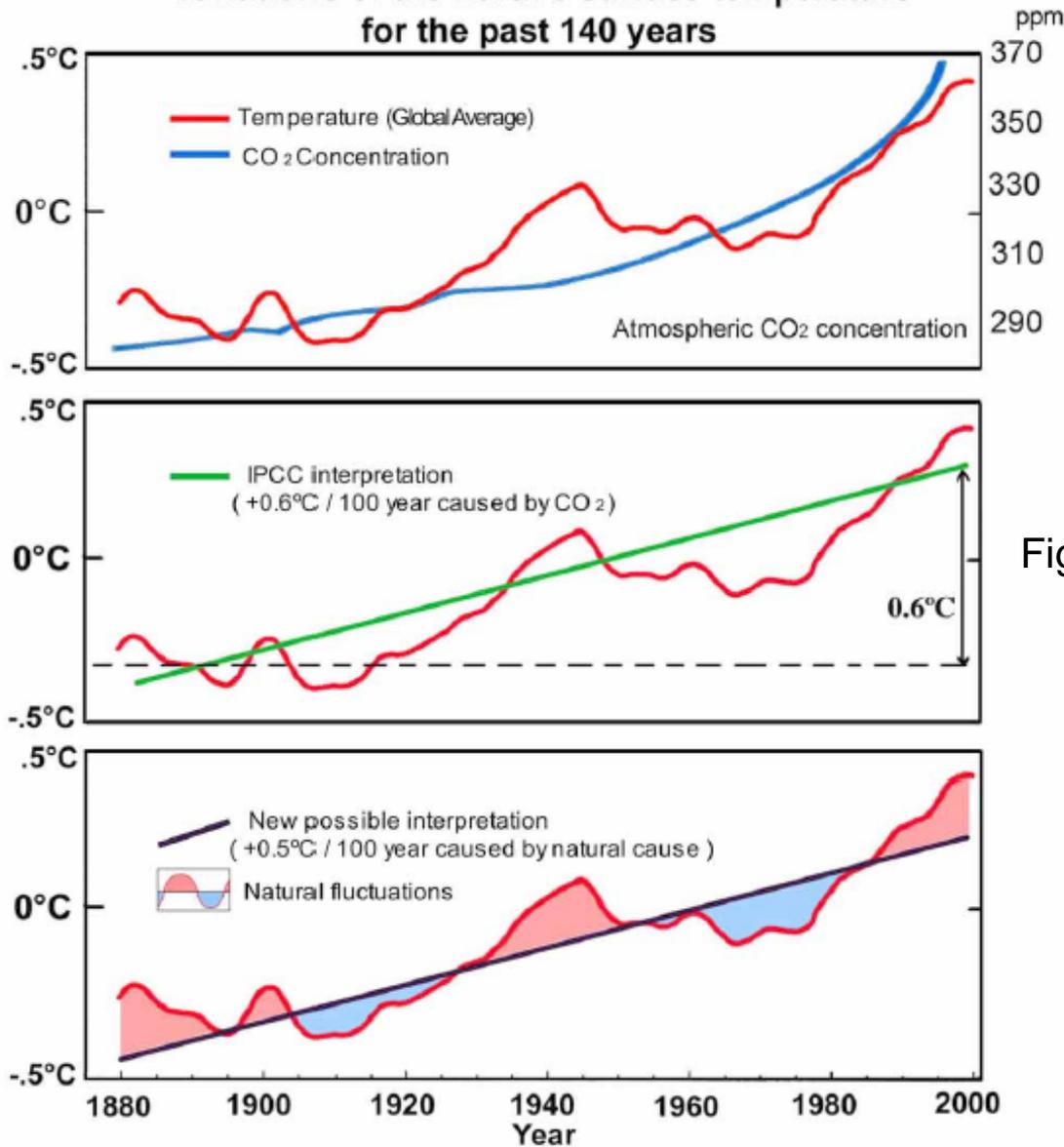


Figure 1: The top graph is the basic data on global warming; the middle graph is the IPCC's interpretation that the 0.6 ° C (or 1 ° F) increase is caused by the greenhouse effect; the bottom graph is another interpretation, suggesting that a large fraction of the 0.6 ° C - 0.7 ° C rise is due to natural changes.

1年当たりによると0.005 の平均地球大気温度の上昇

北極圏では気温変化が増幅される

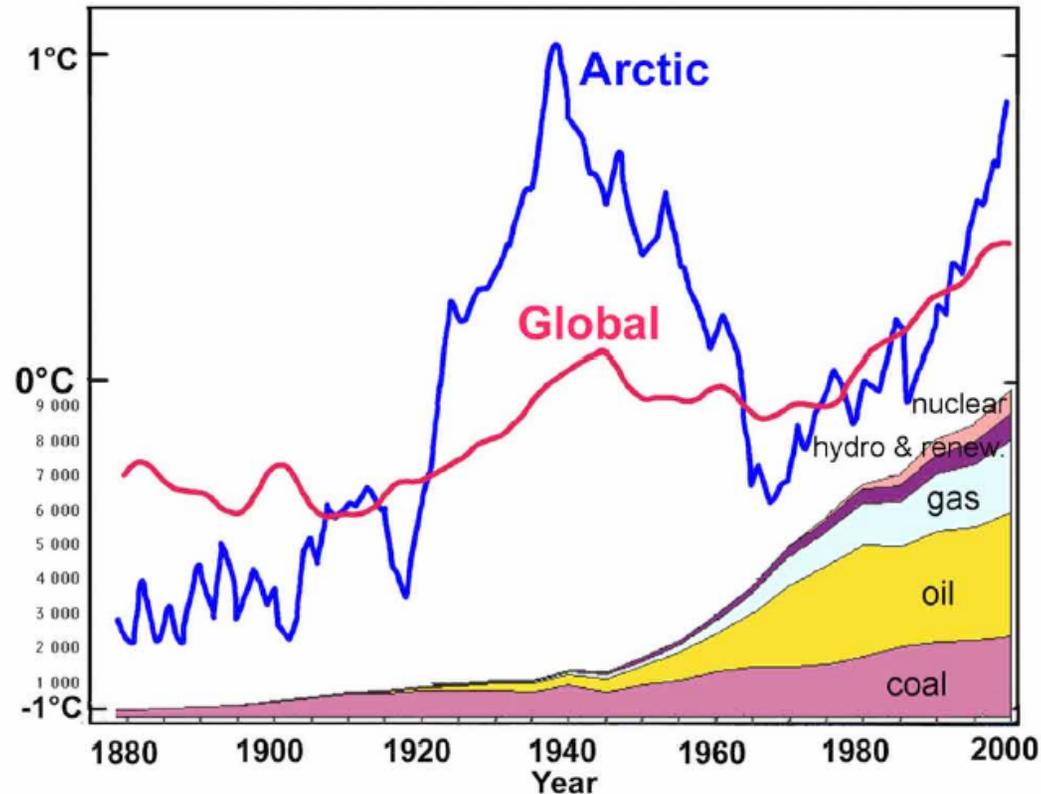


Figure 2: Red – global average change (IPCC Reports). Blue – data from stations along the coastline of the Arctic Ocean (Polyakov et al., 2002). The figure shows also the amount of various sources of energy used during the last century; gas, oil, and coal all release CO₂.

よく見ると1940年頃から1965年頃まで平均大気温度は下がる方向にあった。

平均海面は上昇し続けている

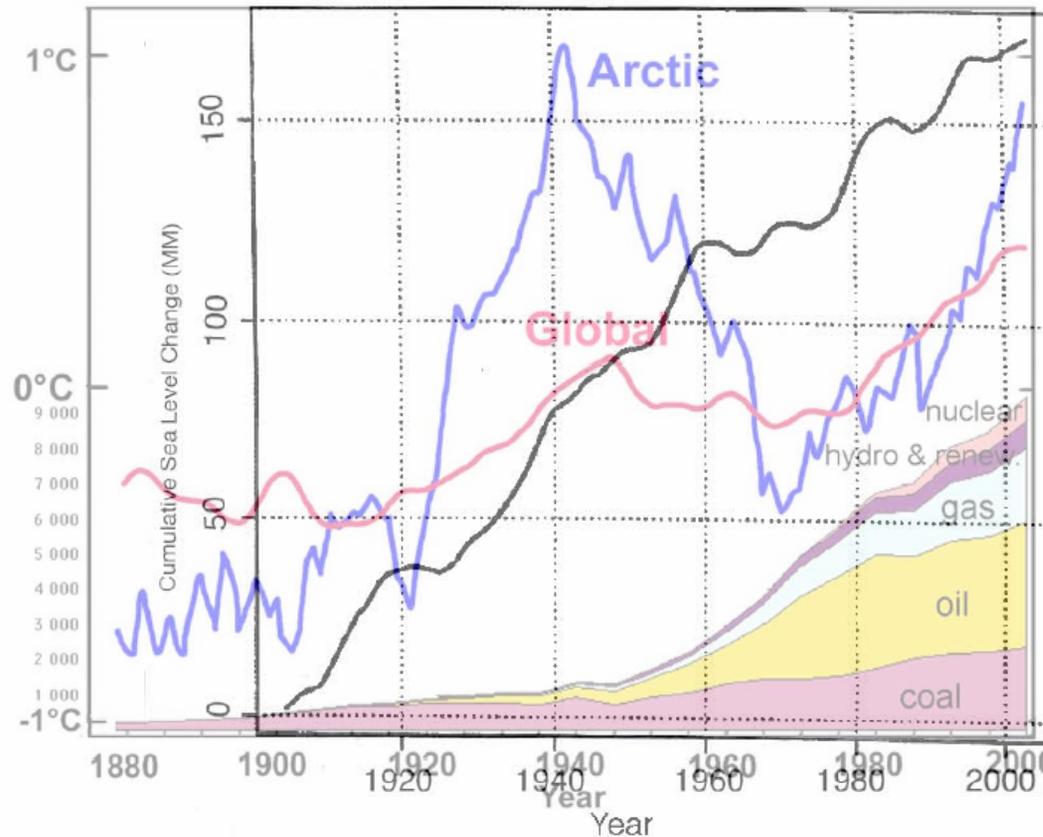
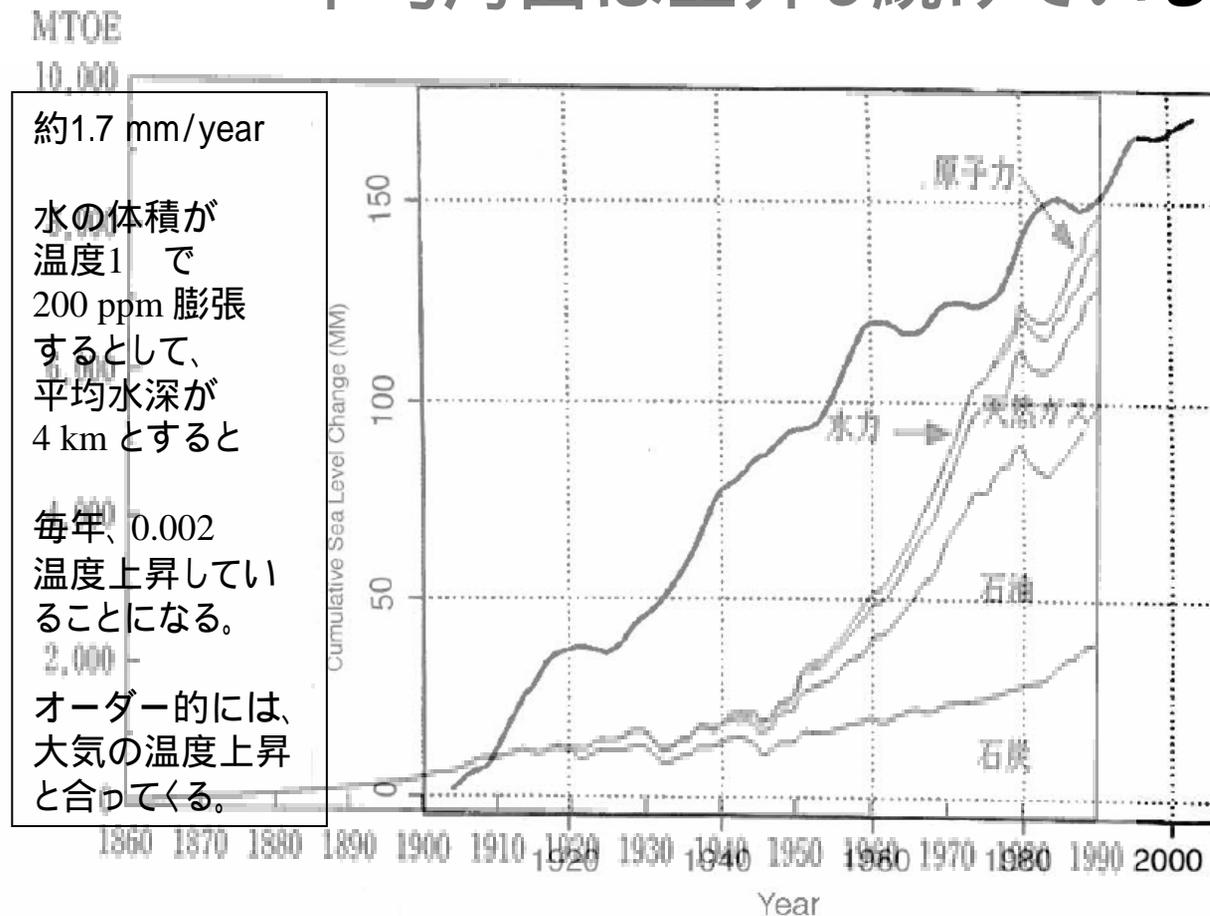


Figure 2: Red – global average change (IPCC Reports). Blue – data from stations along the coastline of the Arctic Ocean (Polyakov et al., 2002). The figure shows also the amount of various sources of energy used during the last century; gas, oil, and coal all release CO₂.
 Figure 12: The mean sea level record from the nine tide gauges over the period 1904-2003 based on the decadal trend values for 1907-1999. The sea level curve here is the integral of the rates (Holgate, 2007).

平均海面は大気温度が下がる方向にあった期間もコンスタントに上昇し続けている。

第序-1-7 平均海面は上昇し続けている



平均水深を4 km、水が増えてないとすると、毎年、体積が約0.4 ppm膨張していることになる。

1 cm²に大気は1 kg、海水は400 kg、水の比熱は大気の4倍、地球全体では、海が大気の1000倍の熱容量。

海水の温度上昇はかなり大きな熱容量となる。

Figure 12 (資料) The mean sea level record from the nine tide gauges over the period 1904-2003 based on the decadal trend values for 1907-1999. The sea level curve here is the integral of the rates (Holgate, 2007).

平均海面が熱膨張で毎年1.7 mm上昇するとき大雑把に海水は毎年0.002°C上昇している(HS)。

上の図は1950年から1998年までの温度変化
下の図は1986年から2005年までの温度変化
違いすぎている！

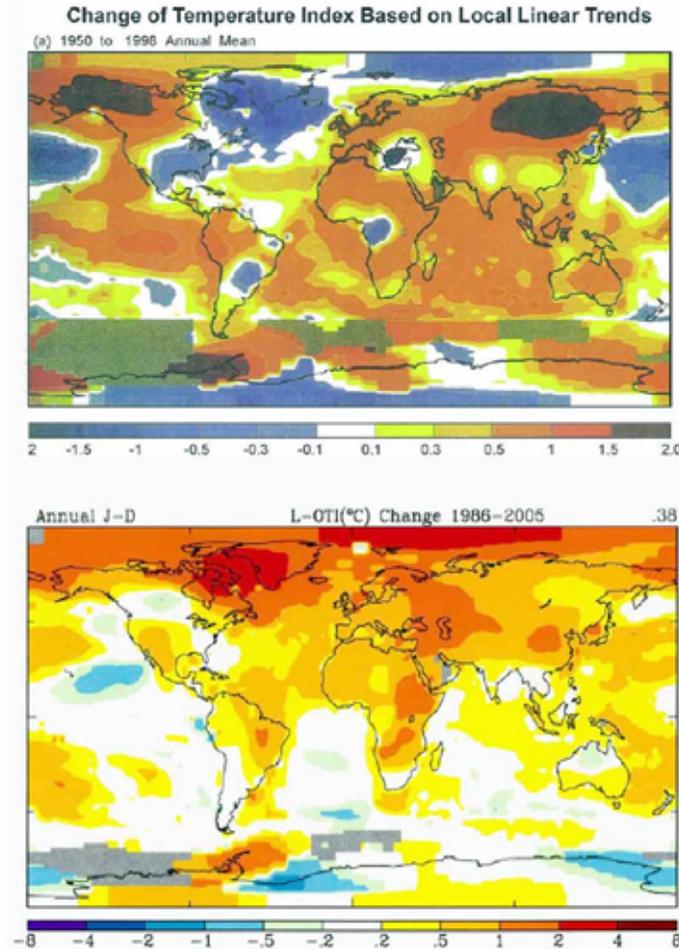


Figure 13: Upper – the geographic distribution of temperature change between 1950 and 1998 (Hansen et al., 2005). Lower – the geographic distribution of temperature change between 1986 and 2005 (Hansen, 2006).

データの期間を変えると温暖化の場所が全く異なって見える。

左の図は1954年から2003年までの温度変化(観測値)
右の図は1951年から2000年までの温度変化(シミュレーション)
違いすぎている！

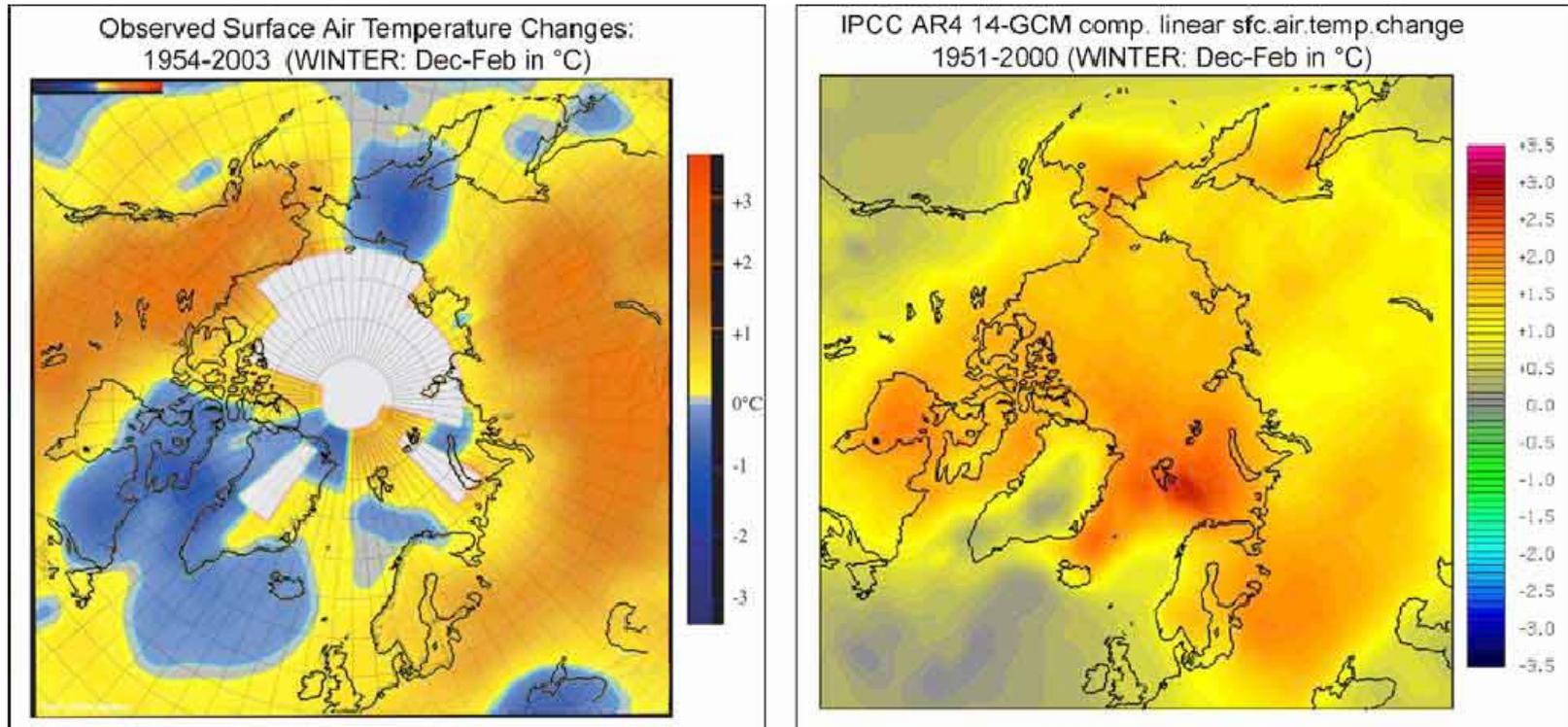


Figure 14a: Comparison of the observed distribution of temperature changes (ACIA, 2004) and the simulation (hindcasting) by the IPCC arctic group (Chapman 2005).

Conclusion

I (Dr. Akasofu) would like to emphasize:

1. Natural components are important and significant, so that they should not be ignored;
2. Two natural changes are identified in this note: a linear increase of about $+0.5^{\circ}\text{C}/100$ years and fluctuations superposed on the linear change;
3. It is insufficient to study climate change based on data from the last 100 years;
4. It is difficult to conclude about causes of the rise after 1975 until we can understand the rise from 1920 to 1940;
5. Because of these deficiencies, the present GCM(Global Climate Models) cannot prove that the present warming ($0.6^{\circ}\text{C} - 0.7^{\circ}\text{C}/100$ years) is caused by the greenhouse effect; and thus,
6. Future prediction of warming by GCMs is uncertain.

If most of the present rise is caused by the recovery from the Little Ice Age (a natural component) and if the recovery rate does not change during the next 100 years, the rise expected from the year 2000 to 2100 would be 0.5°C . Multi-decadal changes would be either positive or negative in 2100. This rough estimate is based on the recovery rate of $0.5^{\circ}\text{C}/100$ years during the last few hundred years. It should be noted that the greenhouse effect shown by GCMs should be carefully re-evaluated, if the present rise ($0.6^{\circ}\text{C} - 0.7^{\circ}\text{C}/100$ years) is mostly due to natural components, such as those I suggest.

今日の話-その1

地球温暖化の原因は本当に二酸化炭素(化石燃料)だけか？

- 赤祖父博士が指摘するように1945年から1965年にかけて、二酸化炭素濃度は上昇していたにもかかわらず、地球の平均気温は下がり続けた。
- 一方で、大気中二酸化炭素濃度は、現在 380 ppmを超えている。
- 過去16万年の傾向から見ると、この値は地球の平均気温が現在より + 10 °C ときの化学平衡値と考えられる。(HS)
- この二酸化炭素濃度は明らかに異常であり、地球環境は不安定な非平衡状態にあることは確かである。しかしながら、二酸化炭素濃度が上昇し続けたにも関わらず、1945年から1965年にかけて平均気温は下がり続け、海水は上昇し続けた。これをどのように説明すべきだろうか。(HS)
- 大気温が1 °C 上昇するとき、大気のエネルギー量の増加は莫大である。(HS)
- 大型のハリケーン、寒暖の異常気象、さらには地震や津波などの災害は…(HS)
- さて、地球温暖化は温暖化ガスの影響ばかりではなく、森林の減少、砂漠の拡大、地表の反射率(アルベド)とアスファルトやコンクリートなどの顕熱、人工排熱が与える大気、海水や淡水への影響もあると考えている。(HS)

森は日射を受けて温度上昇するのではなく、大気に水を供給する。
そして、二酸化炭素を吸収し、酸素を供給する。

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS

QuickTime[®] C²
TIFF[®] à èkC»ÇuAj èLizEvÉcÉOÉâÉÄ
Ç™Ç±ÇÄÈsENE'ÈÈÇ¼@ÇÈÇzÇ¼Ç...ÇÖIKónÇ-Ç ÅB

<http://www.fao.org/forestry/site/fra/en/>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS

QuickTime[®] Ç²
TIFFAia êkÇ»ÇµAj êLíEVEçÉOÉâÉÁ
Ç™Ç±ÇÄEsÉNE`ÉÉÇ¾a©ÇÉÇzÇ½Ç...ÇÓiKóvÇ-Ç AB

カーボンニュートラルといわれるバイオ燃料は
森を増やすことが前提

今日の話-その2

そんなにたくさん熱を捨てても
大丈夫なのか

QuickTimeý Ç²
TIFFÅià èkC»ÇµÅj êLí£ÉvÉçÉOÉâÉÄ
Ç™Ç±ÇÄÉsÉNE`ÉÉÇ¼å©ÇÉÇžÇ½Ç...ÇÖiKóvÇ-Ç ÅB

火力発電所 (2677.1万kW)

01:東京電力(株)横須賀火力発電所 02:東京電力(株)南
横浜火力発電所 03:電源開発 磯子火力発電所 04:東京
電力(株)横浜火力発電所 05:東京電力(株)川崎火力発電
所 06:東京電力(株)東扇島火力発電所 07:東京電力(株)
大井火力発電所 08:東京電力(株)品川火力発電所 09:東
京電力(株)千葉火力発電所 10:東京電力(株)五井火力発
電所 11:東京電力(株)姉崎火力発電所 12:東京電力(株)
袖ヶ浦火力発電所 13:東京電力(株)富津火力発電所 14:
君津共同火力(株)君津共同発電所

製鉄所

15:JFEスチール(株)東日本京浜地区 16:JFEスチール(株)
東日本千葉地区 17:新日本製鐵(株)君津製鉄所 **製油**
所 18:日本石油精製(株)根岸製油所 19:日本石油精製(
株)横浜製油所 20:東亜石油(株)川崎製油所 21:東燃ゼ
ネラル石油(株)川崎製油所 22:コスモ石油(株)千葉製油所
23:極東石油(株)製油所 24:出光興産(株)千葉製油所
25:富士石油(株)袖ヶ浦製油所

ガス工場

26:東京ガス(株)根岸工場 27:東京ガス(株)扇島工場 28
:東京ガス(株)袖ヶ浦工場

造船所

29:(株)IHIマリンユナイテッド 30:住友重機械マリンエンジニ
アリング(株)横須賀造船所 31:三井造船(株)千葉事業所

自動車組立工場

32:日産自動車(株)追浜工場 33:日産自動車(株)横浜工
場

東京湾環境情報センター

<http://www.tbeic.go.jp/kankyo/sangyo.asp>

火力発電所設備概要

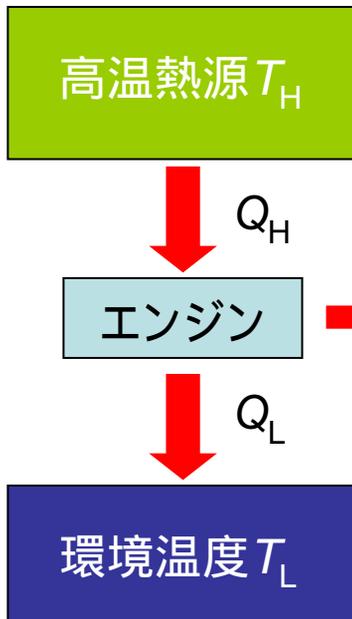
<http://www.tepco.co.jp/tp/list/index-j.html>

東京湾にそんなに熱を捨てても大丈夫？

熱は、量ではなく温度(価値)で判断しよう

- 発電機の効率

$$\text{電力 } W \\ = \frac{\text{加えた熱量 } Q_H}{\text{加えた熱量 } Q_H}$$



$$W = Q_H - Q_L \\ = (Q_H - Q_L) / Q_H \\ = 1 - (Q_L / Q_H)$$

$$(Q_L / Q_H) = (T_L / T_H)$$

$$= 1 - (T_L / T_H)$$



Sadi Carnot (1796-1832)
the E.F. Smith Collection

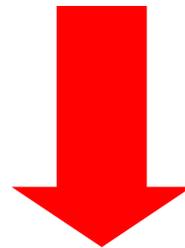
カルノーサイクルの効率
熱力学の第2法則

もしも外気温が0 (273 K) のとき
23 (300 K) の室温で発電すると



$$= 1 - (T_L / T_H)$$

$$9 \% = 1 - (273 \text{ K} / 300 \text{ K})$$

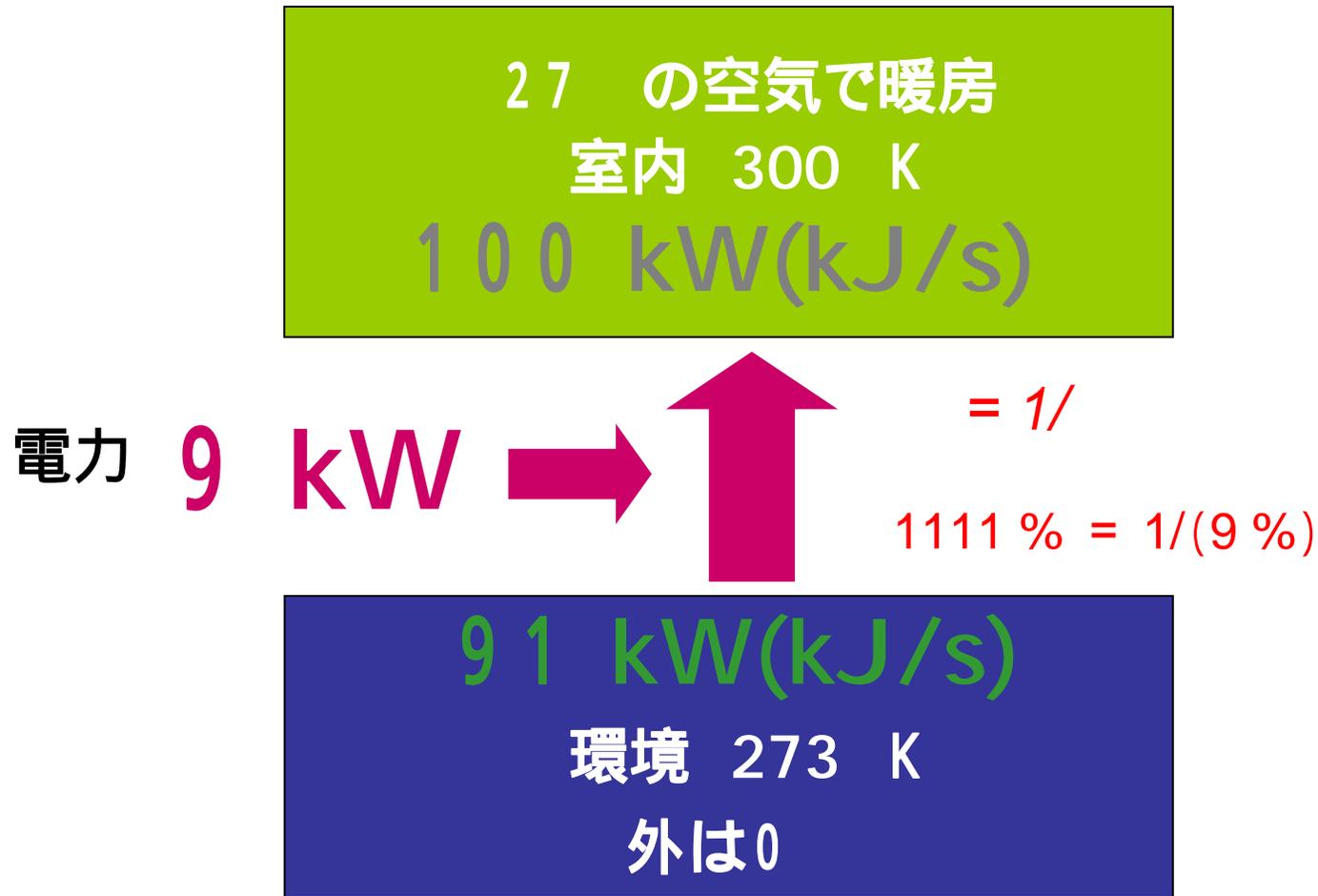


9 kW 発電



300 Kの熱は9%が電力と同じエネルギー

ヒートポンプ(エアコン)の熱効率



9 kWの電力で、11倍の熱が得られる。

熱の場合、価値(温度)で考えましょう

- 発電の理論熱効率

$$\text{理論効率} = \frac{300\text{K} - 273\text{K}}{300\text{K}} = 9\%$$

- 空調機の理論熱効率

$$\text{理論効率} = \frac{300\text{K}}{300\text{K} - 273\text{K}} = 1111\%$$



Sadi Carnot (1796-1832)
the E.F. Smith Collection

最高の効率はいつも100%ですよね。

カルノーは熱の価値を明らかにした！

熱の量 q にカルノーの効率 $(1 - T_0/T)$ を掛けたものを **エクセルギー** と呼びます。

$$e = q \times (1 - T_0/T) = q - T_0 (q/T) = q - T_0 s$$

» エントロピー: $s = (q/T)$

» $T_0 s$ は何? = 環境温度 T_0 で原子や分子が存在するための分

今日の私の話 q のレベル T が、皆さんのレベル T_0 と等しいとき、皆さんが得るもの e はゼロです。話を聞いても影響を受けない。役立たないのです。ちょっと変な言い方ですがエクセルギーとは役に立つ分です。例えば電気エネルギーは役に立つからこそエネルギーなのです。つまり、熱は役立たない分まで含んでいる点で電気などのエネルギーと違います。熱(人)は温度(熱意)という情報がないとエクセルギー(能力)が分かりません。電力は全て使えます。熱は全部を使うことはできません。

おまけ:

エントロピー: 「エントロピーは質の低さの尺度」です。自然は質の低い方に流れる(エントロピー増大)? それを止めるのは知性だと思います。

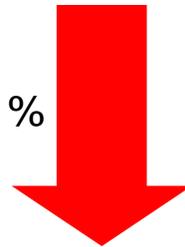
エンタルピー: $h = u + pv$; $u = h - pv$

- h は収入で、 pv は外に使うエネルギー(家賃?)
- 残りの u は家の中で使える内部エネルギー(生活費?)

エクセルギーで効率を考えると理論効率は100%となります。

室内 300 K
100 (9) kW (kJ/s)

$$\text{理論効率} = \frac{\text{電力}}{\text{入力エクセルギー}} = 100\%$$



9 (9) kW

発電

91 (0) kW (kJ/s)
環境 273 K

$$\begin{aligned} e &= q \times (1 - T_0/T) \\ T &= T_0 \text{ のとき} \\ e &= 0 \end{aligned}$$

つぎに 空調機の効率も最大は100%になります

27 の空気で暖房
室内 300 K
100 (9) kW (kJ/s)

電力 9 (9) kW



$$\text{理論効率} = \frac{\text{高温熱のエクセルギー}}{\text{電力}} = 100\%$$

91 (0) kW (kJ/s)
環境 273 K
外は0

空気で暖める
というよりは
電気で暖める
の方が正確

今日の話-その2

そんなにたくさん熱を捨てても大丈夫なのか

答え

環境への熱負荷は、エクセルギーで考える必要があります。

環境温度に等しい排熱のエクセルギーはゼロです。

いくら捨てても環境に影響しません。

ところで砂漠も産業も都会(車やアスファルト)も高温の熱で大気を暖めています。

大気にプラスのエクセルギーを与えています。

ヒートアイランド現象の対策として、熱負荷を論じるには
自然環境に与えるエクセルギー量で評価するのが正しいと考えています。

今日の話-その3

人工的に低温で排熱する技術は可能でしょうか？

木の葉などから目に見えない水蒸気が大気中を登っていきます

= 森の空気を冷やすとともに上空に熱を捨てています

= 腕にアルコールを塗って吹くとどうなりますか？

冷たく感じます(実際に皮膚の温度は下がっています)

自然環境では目に見えない水(水蒸気ガス)が 熱を運んでいます

ポンプ無しに膨大な数の木の葉の
葉面の隅々に水が供給され蒸散しています



汗をかく車？



葉脈 : the veins of leaves

Water is important?

- Under a tree, there is a large water jar.



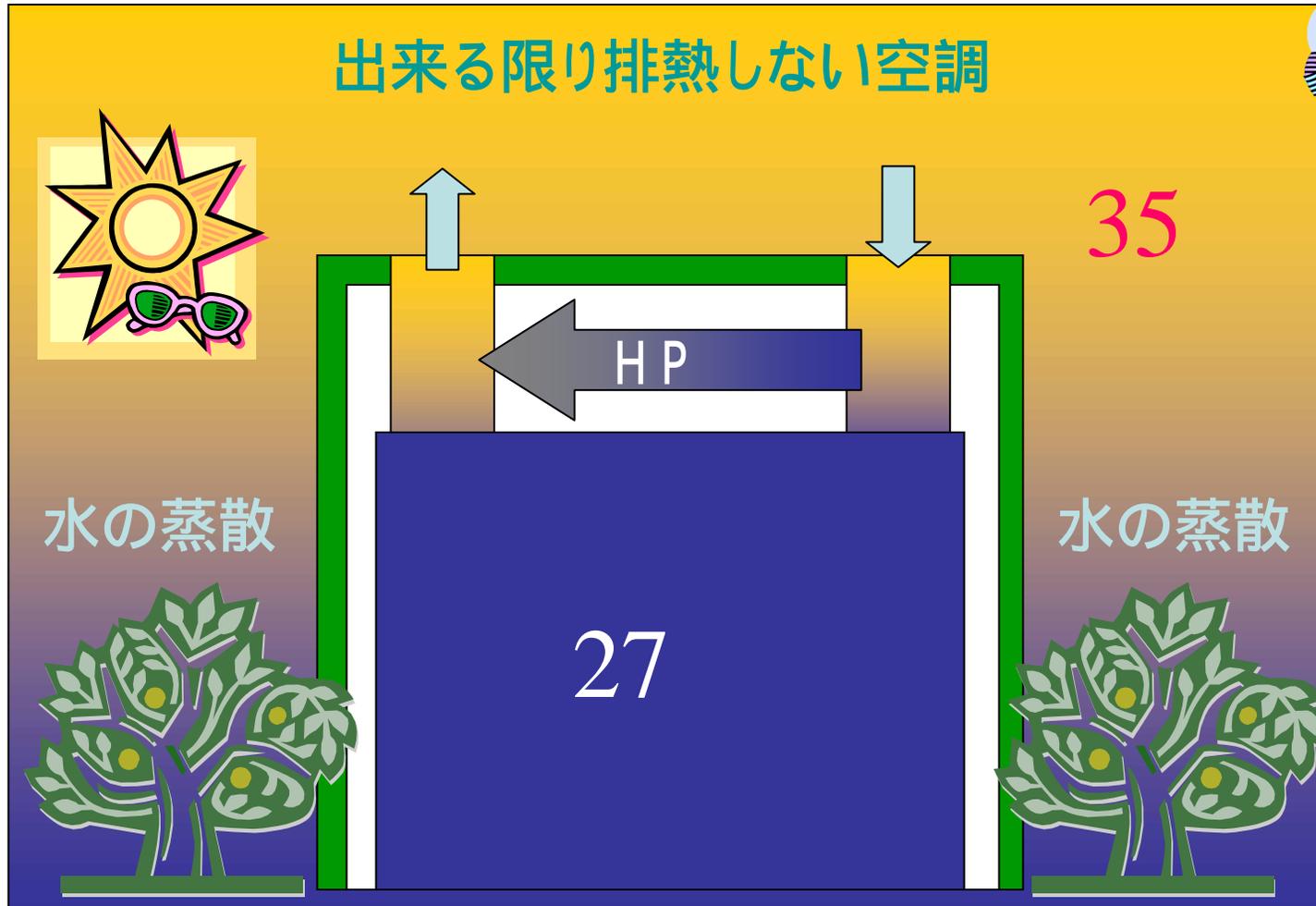
- How trees bring water to each leaves?

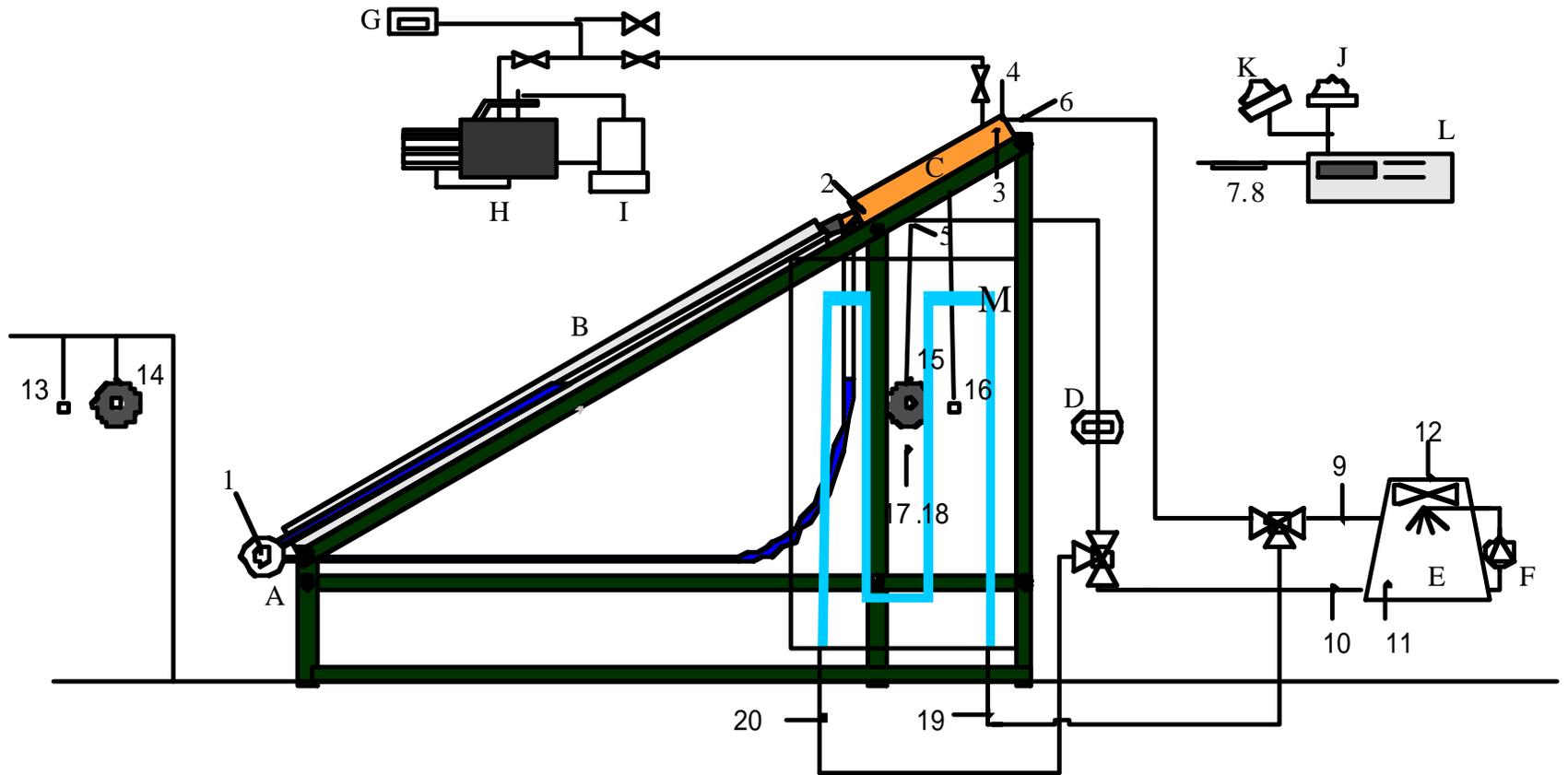
従来型都市の外部環境

(建物内部のみの快適性?)

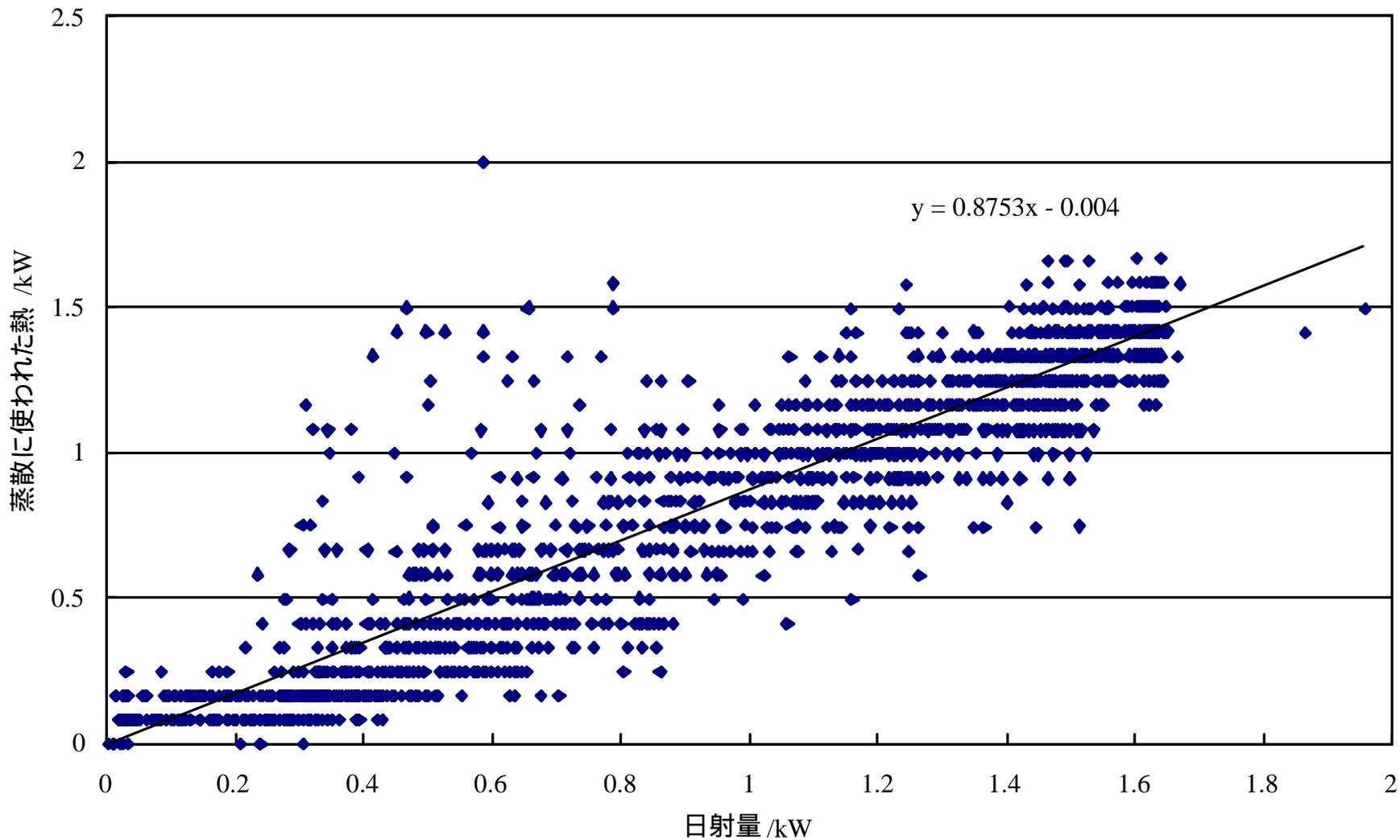


建物外部の環境共生に視点を置く





A:ヘッダー B:集熱器 C:凝縮器 D:流量計 E:冷却塔 F:送液ポンプ G:圧力計
 H:真空ポンプ I:オイルフィルトレーション J:水平面全天日射計
 K:傾斜面全天日射計 L:データロガー M:輻射パネル
 数字は熱電対設置箇所



太陽熱の88%を蒸散で大気に返したと読み取っています。

表1 外気温と冷却塔排気口気温の関係

(場所は横浜市の慶応義塾大学理工学部、日付は2006年)

日付	日射量 [kW/m ²]	外気温 [°C]	冷却塔排気口の気温 (水の蒸散温度と仮定) [°C]	温度差 [°C]
9/22	0.18	25.3	24.5	0.7
9/25	0.29	24.9	22.5	2.3
9/28	0.62	29.8	27.0	2.9
10/10	0.57	27.5	24.9	2.6
10/16	0.62	27.0	23.4	3.6
10/19	0.58	24.8	22.8	2.1

右の列は、大気温度より0.7 から3.6 低い温度で排熱したことを示しています

今日の話-その3

人工的に低温で排熱する技術は可能か？

教科書では
熱は高温から低温へ移動すると教えています。

蒸散を使うことで
僅かなエネルギー消費で高温の大気に
低温で大量の熱を移動することができます

今日の話-その4

瑞々しい未来

水は世界を救う、大切にしたい



知的環境共生コミュニティ建設の方針

瑞々しい街づくり宣言

1. 人工環境建設前のアルベド(反射率)の回復
(森のアルベドは0.2以下で太陽熱を吸収している)
2. 人工環境建設前の自然環境と同じ量の水を蒸散し,水循環を取り戻す.
3. エネルギー消費はすべて熱(エントロピー)になる.
水の蒸散などをもちいて,熱のエクセルギー収支をゼロとする努力をしたい.

水があれば温度は上がり過ぎない

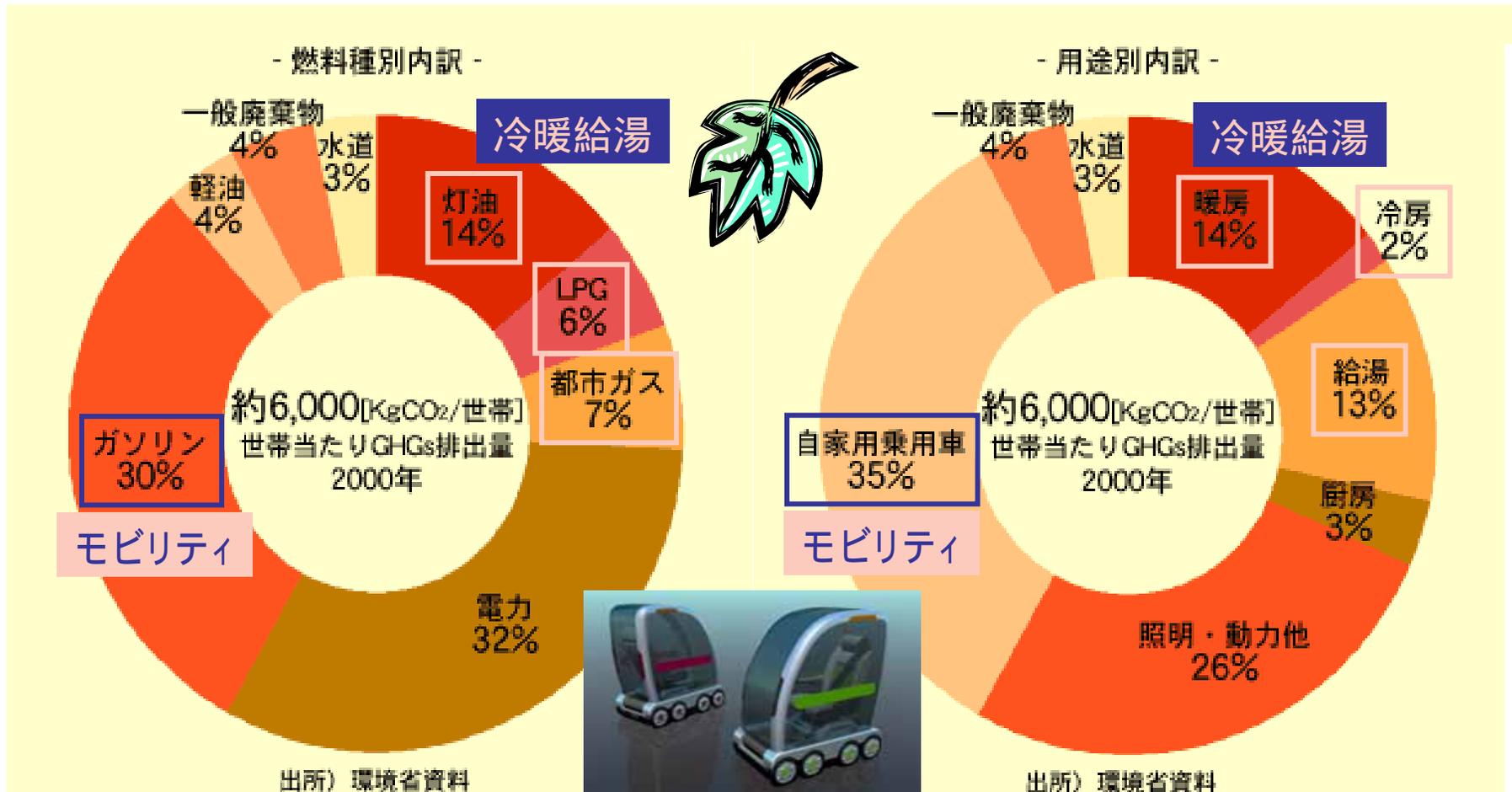
水がないと温度は異常に上がる

今日の話ーその5

コ・モビリティ社会の提案

文部科学省科学技術振興調整費分野融合拠点

環境共生コミュニティのサステナビリティは、モビリティと冷暖給湯のシステム基盤から



2000年度日本の家庭部門用途別CO₂排出割合
(全国地球温暖化防止活動推進センターホームページより)

環境・空間構成WG

佐藤春樹(理工)、隈研吾(理工)、村上周三(理工)、伊香賀俊治(理工)、早見均(商・産業研)

自然環境とコ・モビリティ社会の調和を目指す

エネルギー・環境SWG

人と自然の
共生支援

自然

誰もが
自分で動ける
人間支援技術

若年

老年

空間構成SWG

(コミュニケーション+モビリティ)の生活空間デザイン

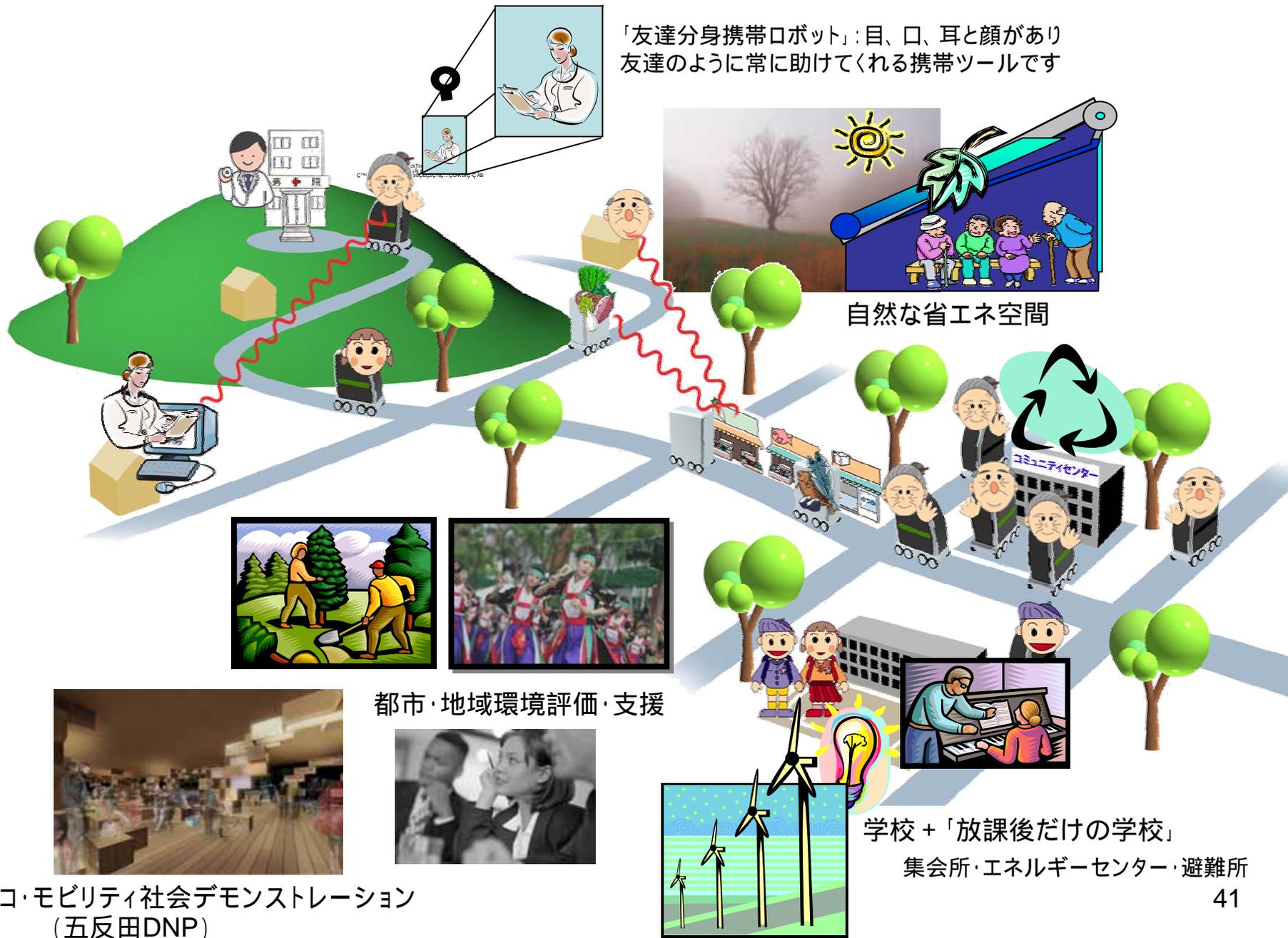
コミュニケーション

壮年

モビリティ

人と人のコ・モビリティ情報空間

「友達分身携帯ロボット」：目、口、耳と顔があり
友達のように常に助けしてくれる携帯ツールです



自然な省エネ空間



コミュニティセンター

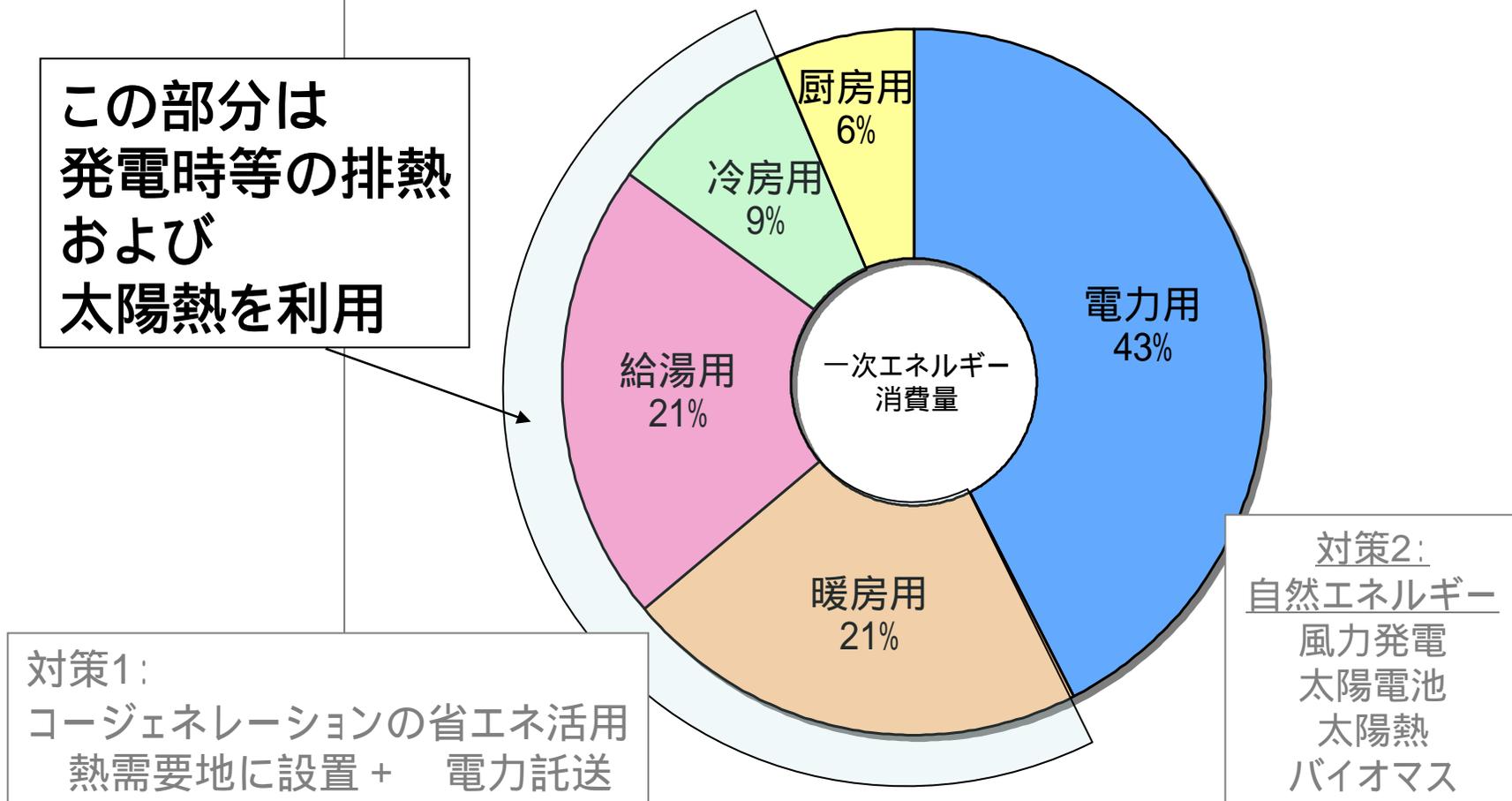
都市・地域環境評価・支援

学校 + 「放課後だけの学校」

集会所・エネルギーセンター・避難所

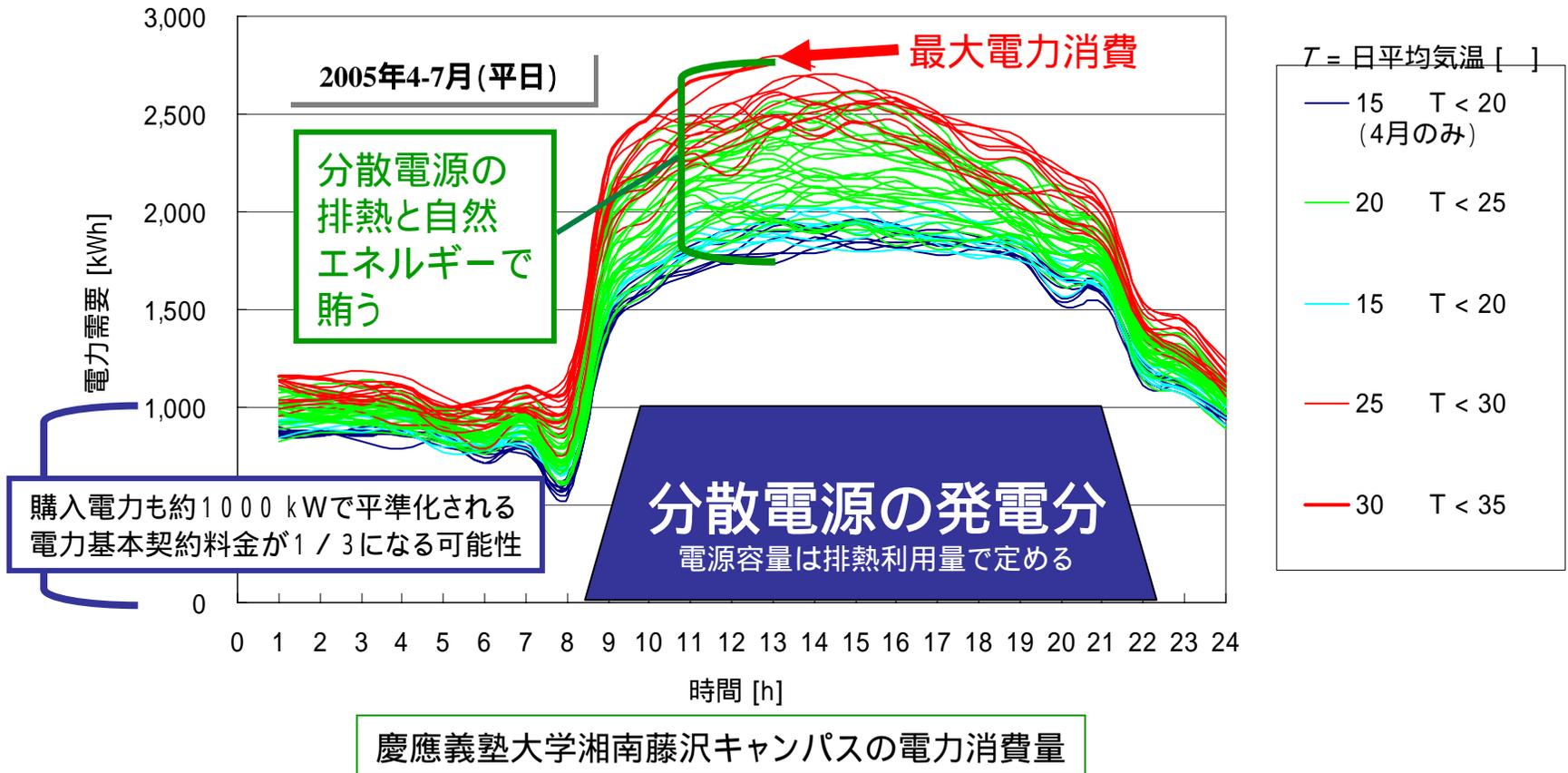
コ・モビリティ社会デモンストレーション
(五反田DNP)

二酸化炭素排出量50%削減に向けてのCEMS (クラスター型エネルギーマネジメントシステム)

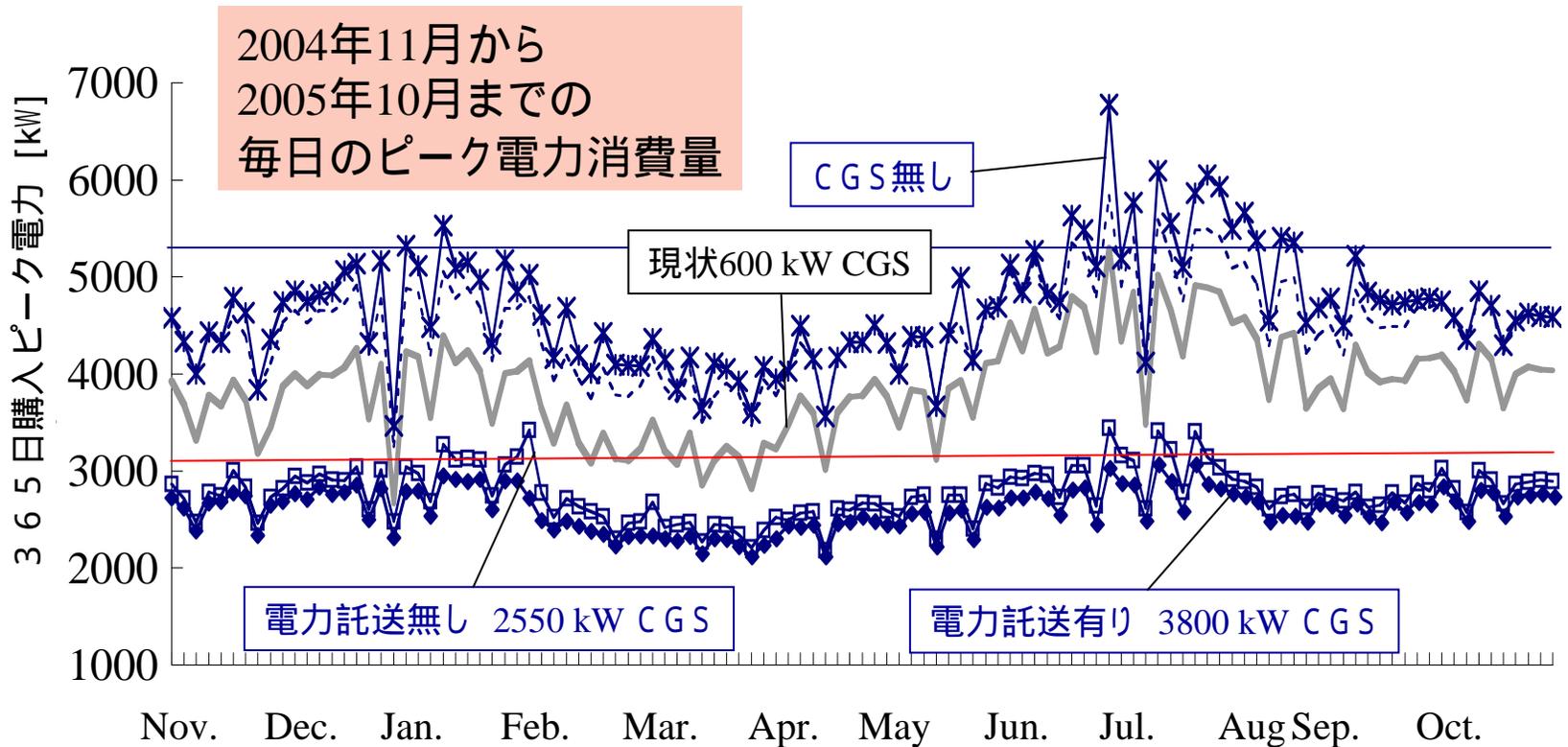


2002年度日本の業務部門用途別一次エネルギー消費
(省エネルギーセンター資料よりの概算)

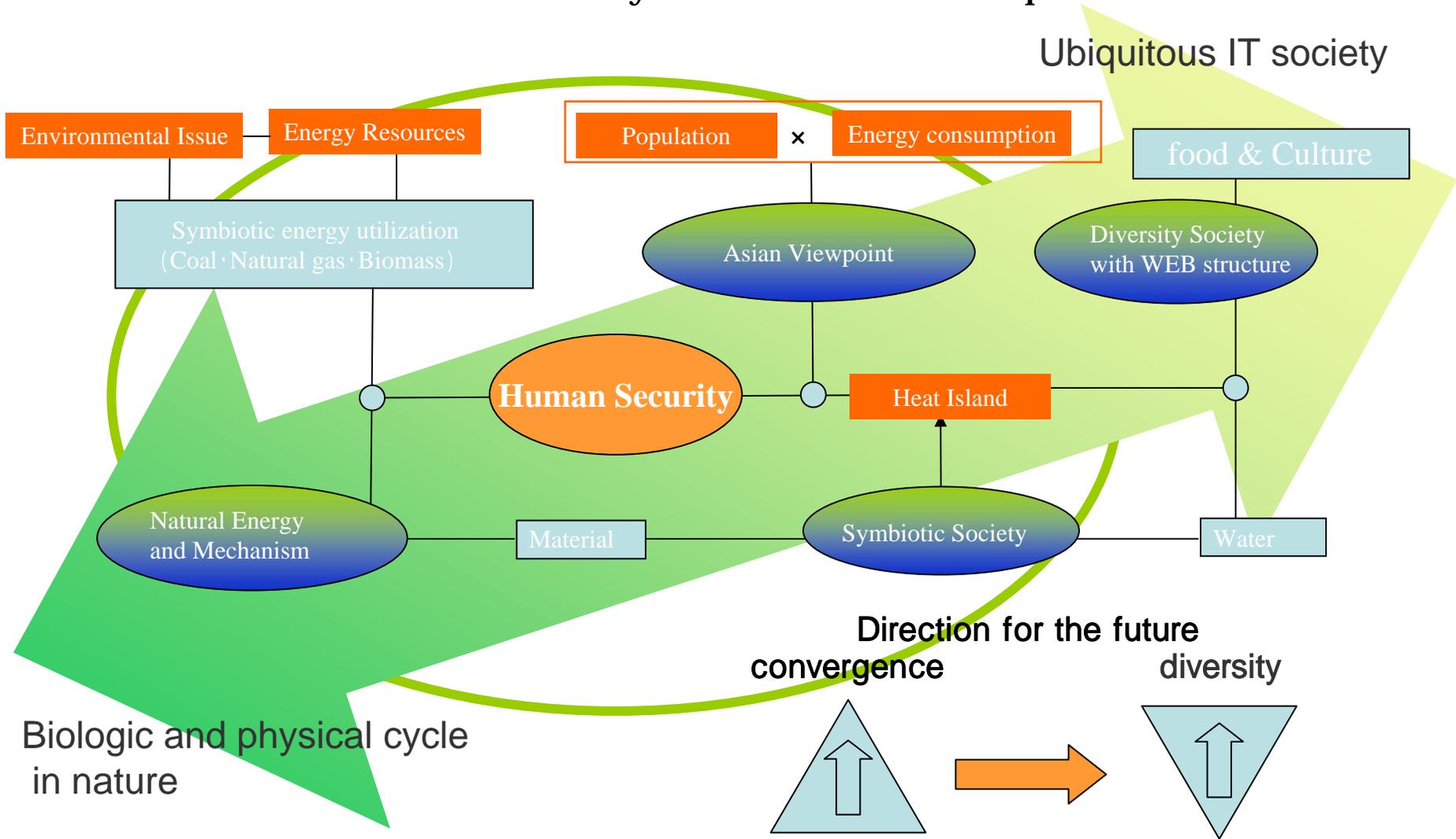
冷暖房・給湯の熱需要は(排熱 + 太陽熱)で賄う



SFC+矢上でのCGS導入シミュレーション



We hope to design Hopeful Future Vision with Dependency + Independency in the world with you from Asian viewpoint



今日の話

慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科教授 佐藤春樹

その1 地球温暖化の原因は本当に二酸化炭素か？

温暖化ガス+ 森の破壊+ 砂漠化の進行+ アスファルト等への地表変化による熱の顕熱化+ エネルギー消費に伴う高温人工排熱(車など)

その2 そんなにたくさん熱を捨てても大丈夫なのか？

排熱は量よりも寧ろ如何に環境温度に近づけて捨てるかが重要である。環境温度より高い排熱(のエクセルギー)が環境への熱負荷となる。

その3 人工的に低温で排熱する技術は可能か？

樹木はポンプなしに水を集め葉の隅々に供給し、太陽熱を蒸散によって空に返し、より低温且つ酸素リッチの空気を供給している。自然の仕組みに学ぶことから低温排熱技術は可能である。

その4 瑞々しい未来

二酸化炭素排出削減に加えて、地球温暖化(そしてヒートアイランド)の原因として、砂漠化の進行やアスファルトなどの人工環境により広大な面積の森が破壊され、自然環境の仕組みが失われていることにもっと気付く必要がある。特に水蒸気を含む水の循環を取り戻す必要が最も重要ではないか。

その5 コ・モビリティ社会の提案

幸福を導くソーシャルキャピタル蓄積型社会構築まで配慮しないとコミュニティ建設はできない。弱者への「思いやり」と「ほっとけない」行動が、環境共生型サステイナブルコミュニティーの建設に繋がる。