HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	本当に二酸化炭素は減らすべきか？
Author(s)	藤井, 義明
Citation	Journal of MMIJ : journal of the Mining and Materials Processing Institute of Japan, 128(4/5), 218-223 https://doi.org/10.2473/journalofmmij.128.218
Issue Date	2012-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/52879
Type	other
File Information	JMMIJ,128(4_5),218-223.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Journal of MMIJ Vol.128 p.218－223 (2012)
©2012 The Mining and Materials Processing Institute of Japan

論説
Current Opinion

本当に二酸化炭素は減らすべきか？*

藤 井 義 明[1]

Should We Really Reduce Carbon Dioxide?

by Yoshiaki FUJII[a]

a. Professor, Faculty of Engineering, Hokkaido University, N13W8, Sapporo, 060-8628, JAPAN
(Corresponding author, E-mail: fujii6299@frontier.hokudai.ac.jp, FAX: +81-11-706-6299)

In order to clarify whether we should reduce anthropogenic carbon dioxide emission or not, interaction between 5 potential problems to survival of human, namely, water shortage, food crises, exhaustion of energy and mineral resources, global warming and population increase were investigated. Population increase was the origin of the 5 problems and increase in ODA for women education etc. to accelerate population stabilization was proposed. Unreasonable reduction of carbon dioxide is harmful to human future and should be stopped. Instead, it was suggested not to increase carbon dioxide by accelerating population stabilization and improving efficiency of coal power plants in US, India and China. Prevention of population decrease, increase in self-sufficiency ratio of foods, secure energy and mineral resources, development of such domestic energy resources as underground coal gasification, coal bed methane, deep coal, methane hydrate and sea uranium, and reduction of earthquake damage were proposed as the key points to a better future of Japan.
KEY WORDS: Population Stabilization, Global Warming, Thorium, Sea Uranium

1. は じ め に

地球温暖化が人類存続上の最大の問題であり，それを解決するためには人為的二酸化炭素排出を抑制しなければいけないという論調がそこかしこにみられる。本小文では，地球温暖化を含む，人類がある程度文化的な生活を少しでも長く続ける上での問題のいくつかをピックアップし，それらの解決策について検討するとともに，本当に二酸化炭素は減らすべきか否か論ずる。

2. 人類がある程度文化的な生活を営む上での様々な問題

人類の存続上の問題を思いつくままに列挙してみるとTable 1のようになった。これらは，空間的・時間的スケールや人類への影響の性質が互いに異なり，また互いに影響しあっているため，これらの重大さを単純にランク付けすることは難しい。そこで，これらの問題のうち，100年程度先までの影響が深刻に思われ，かつ，何か対策が可能そうな問題を5つ選んでその相互関係について考察した(Fig. 1)。

水不足は食糧危機を助長し，人口増加を抑制する。食糧危機は人口増加を抑制する。エネルギー資源枯渇は，農業機器の使用・肥料の生産・灌漑を制限するので食糧危機を助長する。また，地球温暖化の主因が人為的二酸化炭素排出であるとすれば，化石燃料が枯渇すれば地球温暖化の問題は解決する。地球温暖化に伴い極端な気象現象が増えていると指摘されている。たとえば北西太平洋の熱帯性低気圧の発生数は1996年をピークに減少している(Fig. 2)など疑問がありクエスチョンマーク付きではあるが，極端な気象現象は死亡者を伴うと考えられるので，地球温暖化は人口を抑制するとした。温暖化に伴い，降雨が増える地域と減少する地域があるが，増える地域でも豪雨などによる増加分は洪水等に流れてしまい飲み水にはならないので水不足が助長されるとするIPCCの意見[1]を採用した。同じ報告書に，2～3Kの温暖化は食料の生産能力を増加させるとあり，たとえば環境省も日本の米の生産量が2～3割増加するとしている(環境省ウェブサイト)ので，温暖化は食糧危機を緩和するとした。人口増加は水不足，食糧危機，エネルギー・鉱物資源の枯渇，地球温暖化を助長する。

これらから気候変動を除き，その他の諸問題を加えて，相互関係を数式で表し，シミュレーションした結果を示したのが「成長の限界」[2]であるが，シミュレーションなどするまでもなく，ここに挙げた問題の中では，人口増加が全ての問題の根源であることが容易に指摘できる。世界の人口は2011年に70億人に達し，2050年には91億人に達すると予想されている(国連ウェブサイト[3])。「成長の限界」によれば，このまま人口が増え続ければ，2050年くらいから食料と資源の供給速度，および，汚染の除去速度の不足により人口は急激に減少する。人口増加を問題にしながら，人口減少を避けたいとするのはおかしいような気もするが，人口が増えすぎたための急激な人口減少とそれに伴う文化的社会の崩壊を避けたいと筆者は考える。

人口増加は問題ではないとするバチカン関係者の意見もある[4]。しかしながら，たとえば今の技術で7000億人を養うことは不可能であろうし，700億人も難しいとすれば，技術の進歩はあろうが永久に人口増加を続けることは不可能である。最近は人口増加

*2011年5月6日受付　2011年12月19日受理
1. 正会員 北海道大学大学院工学研究院 教授
[著者連絡先] FAX: 011-706-6299
E-mail: fujii6299@frontier.hokudai.ac.jp
キーワード：人口安定化，地球温暖化，トリウム，海水ウラン

Table 1　Various potential problems to human survival.

Global warming, Environmental hormone, Dioxin, Economic crises, Population increase, Food crises, Exhaustion of energy and mineral resources, Religion wars, Nuclear wars, Poverty, Bird flu, Resistant pathogens, Global cooling, HIV, Malaria, Comet impaction, Catastrophic eruptions, etc.

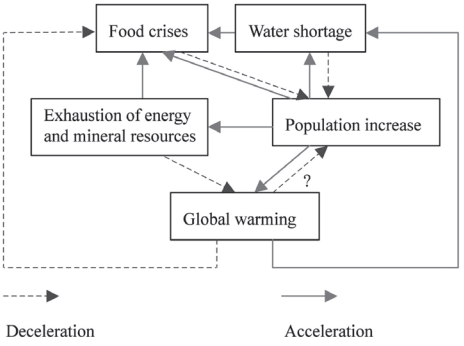


Fig.1　Interaction between potential problems for human future for the case of global warming of 2-3K.

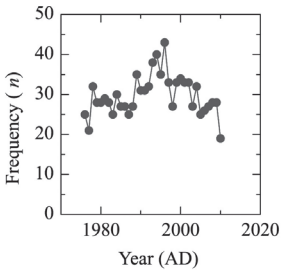


Fig.2　Number of tropical cyclones in Western North Pacific Ocean between 1976 and 2010 (source: The United States Naval Meteorology and Oceanography Command Web Site: http://www.usno.navy.mil/NOOC/nmfc-ph/RSS/jtwc/atcr/2010atcr.pdf).

率が減少傾向にあり，2050 年の 90 億人程度で人口は安定化するようにもみえる (Fig. 3)。90 億人で世界の人類が幸福に暮らせるならそれでよいが，既に水が不足していることから，筆者は人口安定化を加速する必要があると考えている。先進国の人口は既にほぼ横ばいとなっており，近年の人口増加は発展途上国の人口増加による (Fig. 3)。したがって，発展途上国の人口安定化を加速する必要がある。

3. 人口安定化加速の方法

人口安定化加速の方法として，たとえば，発展途上国への援助をやめて経済発展を阻害することは非人道的である。人口安定化といっても死亡率を増やすわけにはいかないので結局出生率を減らすことになり，その過程で，その時代の社会に都合のいい遺伝的要素を有する子供を優先的に出産させるような手段が講じられる可能性がある。これは，優生学に通じ，現代社会では明らかに非倫理的である。倫理的に世界の人口安定化を加速するための方法を考えるためには，まず，人口増加のメカニズムを知る必要がある。

日本の人口推移と将来の予想を Fig. 4 に例として示す [5]。死亡率は国が豊かになると低下する。これは，栄養状態の改善，医療サービスの充実などによる。一方，出生率はすぐには低下しない。この，死亡率と出生率との差が人口増加となる。しかし出生率も，農業の機械化，年金制度の充実，女性の社会進出，教育費用の増大，核家族化などによって徐々に低下する。特に，女性の教育程度が高いほど出生率が低くなることが知られている [6]。死亡率と出生率が交わったところで人口は横ばいになり，その先は人口減少となる。たとえばメキシコの場合は 2050 年に交差が予想され [7]，日本の場合は 2005 年にすでに死亡率と出生率が交差している。なお，死亡率が極小を示した後に増加する原因は，運動不足や健康に有害な食事による生活習慣病の蔓延・高齢化などによると思われる。

以上から，倫理的な人口安定化加速の方法として，既に行われている ODA に加えて，発展途上国の女性の教育へ支援して出生率の低下を加速させることが挙げられる。この他に，発展途上国でコンドームやピルを無料で配布することも有効と考えられる。この方法はタイ王国ですでに試みられ効果を挙げており (1960 年の 3% から現在の 0.5% [8])，コンドームの配布は HIV の感染拡大防止にも効果的であろう。

中国では一人っ子政策が取られており，人口爆発の抑制に大きく貢献している。しかしながら，四川大地震で一人っ子を失った若くない親がもう一人子供を作ろうとしているなどの報道に接するとやはり非人道的な感は否めない。一方，国連主導による二人っ子政策の施行は，宗教的な理由により困難な一部の国を除いて不可能ではないと思われる。事故や病気による若年死の影響もあり，日本なら合計特殊出産率が 2.08 人，たとえばカンボジアなら 2.5 人で人口は横ばいになる [9]。したがって，二人っ子政策が厳密に施行されれば，世界の人口は横ばいどころか微減に転ずる。現在はむしろ同性愛を禁止することが非人道的とされているようなので，一部の国や地域ではすでに実施されているが，同性婚を認めることも人道的な人口安定化の一手法として有効であろう。

人口を安定化する代わりに，背の高いカップルが子供を作ることを禁止して人間を小型化するという方法も，非人道的ではあるが可能性としては考えられる。他の惑星へ移住する，体を持たない意識だけの存在になるなどの方法も将来の可能性として考えられるが，もちろん，現段階では技術的に不可能である。

4. その他の問題

本章では，人口安定化が早期に達成されたという仮定の下で地球温暖化を除くその他の問題について考察する。人口が安定化されない場合にはいずれの問題も致命的となり得る。

4・1　エネルギー資源の枯渇

主要なエネルギー資源の可採年数は，石炭 122 年 [10]，石油 42 年 [10]，天然ガス 60 年 [10]，ウラニウム 123 年 [11] である。将来も一次エネルギー消費量が変わらないと仮定すると，これらエネルギー資源の埋蔵量枯渇は 74 年後に訪れるが (Fig. 5a) [12]，シェールガス・オイルシェール・メタンハイドレートを考慮すると 153 年まで埋蔵量の枯渇が引き伸ばされる (Fig. 5b) [13]。もちろん，埋蔵量の枯渇が資源の枯渇を意味するわけではないし，新しい鉱床の発見・技術開発などで埋蔵量自体が増加する可能性もあるが，人口増加や経済発展等によるエネルギー消費量の増加などにより

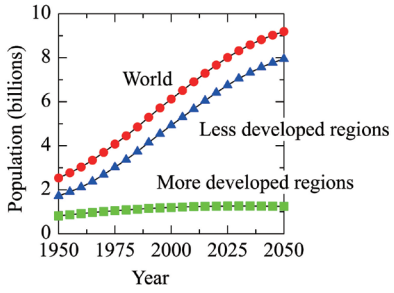


Fig.3　World population and its prediction (UN web site).

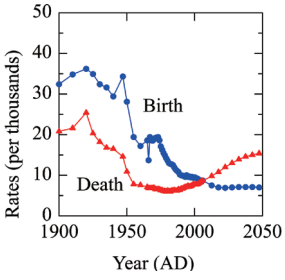
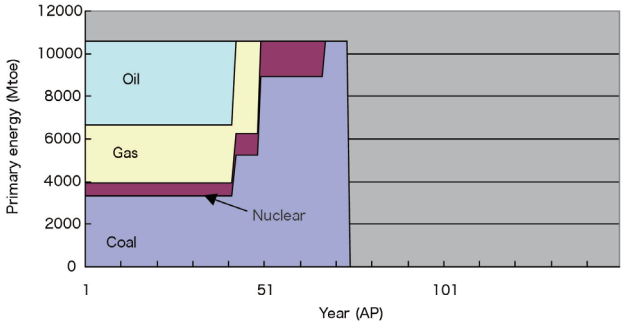
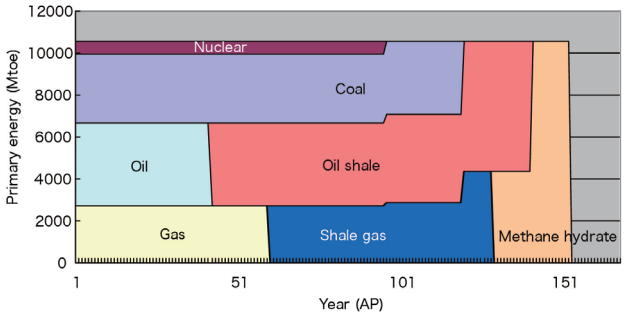


Fig.4　Birth and death rates in Japan and their predictions.



(a) Oil, gas, coal and uranium



(b) Estimated reserves of shale gas, oil shale and methane hydrate are considered

Fig.5　Exhaustion of reserves of major energy resources.

可採年数が減少する可能性もあり，前述の可採年数は，今と同じようにエネルギーを使える年数のごく大雑把な目安としての意義を持つ。

すなわち，人口が安定化されれば 74 年程度は何もしなくても大丈夫であり，しっかりと技術開発すれば 153 年程度大丈夫である。武田邦彦氏は同氏ウェブサイト上などで，「化石エネルギーはどんなに少なく見積もっても 8000 年分ある。それに，100 年前 (明治末期～大正初期) に現在の情報化社会を予測できなかったと同じで，我々も 100 年以上先の社会は予測できず，我々の思いもつかない画期的な技術が開発されているからエネルギーは大丈夫だ。」という主旨の主張を行っている。この主張が正しいのかもしれないが，もしも 153 年先に主要エネルギーの埋蔵量が枯渇すれば，生活の質が落ちるか，人口が減るか (凍死や餓死による)，またはその両方が生じることの可能性は否定できない。ところが地球上にはそれらの危機を避けるに足る大量のトリウムとさらに膨大な量の海水ウランがあることを述べておきたい。

(1) トリウム　トリウム 232 はトリウム 233，プロトアクチニウム 233 を経てウラン 233 となり核分裂による発電に利用することができる [14]。トリウムは主にトルコ・オーストラリア・インド・ノルウェー・アメリカ・カナダなどに賦存するモナザイト ($CePO_4$) から，レアアース，燐とともに得られ (インドのモナザイトのトリウム品位は 8% である)，インドでは既にウラニウムと混合して発電に用いられている。既知埋蔵量は 1.58 Mt，資源量は 6 Mt である。発電に必要なトリウムの量が 278 μg/kWh なので既知埋蔵量により 2.04×10^{22} J の発電が可能であり，このエネルギーは，2008 年のエネルギー消費量 [15]，3.53×10^{20} J (8428 Mtoe) の 58 年分にあたる。原子力発電はエネルギー消費量の 5.8% を賄っている [15] ので，ウランの後継としての可採年数は 1000 年ともいえる。プルトニウムが生成されない，タリウムが強烈な放射線を発する等の特徴から，トリウム発電の使用済み核燃料は核兵器原料に転用しづらいという欠点があり，従来あまり積極的に利用されて来なかったが，上記欠点は核不拡散の観点から核保有国にはむしろ歓迎される。

(2) 海水ウラン　海水中には濃度 3.3 ppb で 4.5 Gt のウランが炭酸ウラニルの形で溶けている [16, 17]。このウランはもともと河川から海洋へ流入している年間 27 kt のウランに起因している。海水は飽和しているので現在流入するウランは海底に沈殿する。海洋プレートの平均寿命を 1.67 億年と仮定すると，海底表層堆積物中に 4.5 Tt のウランが賦存することになる。ウランは年間 27 kt がプレートとともに沈み込むが，プレートと海底堆積物の一部はマグマとなり，地殻に火成岩の成分としてウランを供給する。なお，マントル中のウラン 238, 235 濃度はそれぞれ 30.8, 0.22 ppb である [18]。

海水中のウラン資源量の 25% が利用できると仮定すれば，埋蔵量は 1.1 Gt となる。現在の消費量 67 kt/y で除せば 1.7 万年分，原子力発電がエネルギー消費量の 5.8% を賄っていることを考慮すれば，世界の一次エネルギー消費 1000 年分となる。もっとも，鉱石ウランでも今すぐ高速増殖炉のみに転換できれば世界の一次エネルギーを賄って 720 年分と膨大な量になる。MOX 燃料は放射性廃棄物の減量には役立つが，ウラン鉱石は 2 ～ 3 割しか節約できない。

海水が未飽和となった場合に海洋堆積物中のウランが溶出し，海水中のウラン濃度が一定になる可能性も指摘されている [19]。詳細は省略するが，筆者の計算によれば，世界の一次エネルギー全てを賄うための 1 Mt/y のウランを 100 万年にわたって捕集できる可能性がある [20]。

海水ウランの捕集は，タンニン捕集材 [21] 等を装備したモール状捕集システム [19] を暖流の流れる大陸棚に設置して行えばよいと考えられ，具体的な捕集可能海域として，フィリピン・台湾・沖縄～土佐湾，オーストラリア東岸，フロリダ，アフリカ東岸などの大陸棚が挙げられる (ヨーロッパは海流温が低いため海水ウランの捕集には適していない)。捕集に適する面積は世界で 280 万 km^2 と見積もられ [13]，その 4% を利用すると世界の一次エネルギーを賄うための 1 Mt/y が捕集可能である。捕集コストは現在の鉱石ウランの 3 倍程度 [21] とされているが，将来さらに低減できると予想される。ただし，軽水炉におけるウランの鉱石調達・

製鉱コストは発電コストの 2.9% 未満[22]なので，海水ウランが現在の鉱石ウランの 3 倍のコストであっても，発電コストの増加は 5.8% 未満であり，いわゆる再生可能エネルギーの発電コスト[23]より依然として割安である (ここで，「いわゆる」と断ったのは，エネルギー保存則や相対性理論が成り立つ限り，エネルギーは熱・電気・化学結合・運動・位置等種々のポテンシャル間あるいは $E = mc^2$ により質量との間で変換されるだけで，消滅も再生もしないはずだからである) 。また，沖縄～土佐湾で捕集される海水ウランは我が国のエネルギー自給率の向上に大きく寄与すると期待される。

(3) 海水ウラン＋高速増殖炉　以上のように，軽水炉で世界の一次エネルギー全てを賄うことは，不可能ではなさそうだが，捕集に必要な面積の 11 万 km^2 は膨大であり，また，多量の核廃棄物の処理には非常な困難が予想される。そこで，高速増殖炉の使用を検討してみる。軽水炉でウラン鉱石に含まれている 0.7% のウラン 235 のうち 0.6% までが使われ，高速増殖炉でウラン鉱石の 60% まで核分裂可能と仮定すれば，単純計算では高速増殖炉のみを用いると海水ウランの埋蔵量は 10 万年分～ 1 億年となる。ところが，詳細は省略するが，高速増殖炉を使用して全ての一次エネルギーを賄った場合，年間捕集量が，先に述べた河川から海洋へのウラン流入量を下回るため，可採年数は 21 億年となる[20]。

全ての一次エネルギーを現在と同じ規模の核反応炉で賄った場合，17 倍の炉数が必要であり，安全が確保されたとしても安心感とは程遠い状況になろう。また海水ウランと核技術を持つ国々とそうでない国々との，今とは違う今よりもよりもひどい国家間格差，捕集に適した海域の海賊からの防衛などの問題も予想されるものの，要するに，人類にはトリウムや海水ウランを活用して生き延びながら，新しいエネルギー獲得方法を開発する時間がある。100 年後，200 年後には我々の思いもつかないような新技術が開発されていると思われるが，取りあえず我々の予想できる範囲の技術で 1000 年～ 21 億年分のエネルギーを確保できることは大変有意義と考えられる。

(4) 核融合発電　さらに，核融合発電についても触れておく。実現性が比較的高いとされている重水素とリチウムに中性子をあてて作った三重水素との核融合の場合，1 つの重水素原子と 1 つのリチウム原子から 12.6 MeV のエネルギーが発生する。原子力発電の熱効率 33% を用いれば，取り出せる電力は 405 GJ/mol であり，2008 年のエネルギー消費量[15]，3.53×10^{20} J/y を賄うには，重水 8700 t/y，リチウム 6020 t/y が必要である (遠心分離等により海水中の重水を濃縮したのち電気分解で製造する重水素製造時の電力は核融合により発生する電力の 1/700 とされているので無視した) 。世界の海水量を 13.6×10^{17} t，重水濃度を 0.0145% とすると重水は 197 Tt 存在し，その 1/4 が抽出可能として 49 Tt であるから重水は 56 億年分あるが，リチウムの埋蔵量は 4.1 Mt である[24]から 680 年分である。一方，海水中のリチウムは 230 Gt といわれており (北九州私立大学国際環境工学部分離工学研究室ウェブサイト，http://chemeng.env.kitakyu-u.ac.jp/research/Lithium.pdf) ，1/4 が捕集できれば，960 万年分となる。もちろん商業運転までには大幅な技術革新が必要である。3 つの重水素原子から ^{3}He や三重水素を経てヘリウム・水素・中性子を発生する反応なら 1 つの重水素原子あたり 4.8 MeV のエネルギーを発生する。上記と同様に計算すれば重水は約 21 億年分となるが商業運転にはさらに困難な課題を克服する必要がある。

なお，以上の議論では，いわゆる再生可能エネルギーを無視したが，技術開発によるいわゆる再生可能エネルギーのコスト低減等によりエネルギー事情がさらに改善されることを否定するものではない。

(5) 原子力発電の是非　原発の耐震性や津波に対する安全性が十分でないことが 2011 年東北太平洋沖地震後の福島第一原発の事故で明らかになった。安全性を大幅に向上させるために 2926 億円 (泊 3 号機の例，内閣府原子力委員会資料，http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryo2003/siryo19/siryo1-2.pdf) の建設費が 1000 億円余計にかかったとし，運転期間を 50 年，稼働率を考慮して実質出力 70 万 kW とすれば，50 年で 3100 億 kWh 発電し，コスト上昇は 0.32 JPY/kWh となる。安全性を向上させるといっても限度があり，ある設定値以上の津波や地震では事故が生じる可能性があるので，万が一の事故の際にも公的資金の注入を必要としないように原発の発電コストには補償・廃炉コストを上乗せし積み立てしておく必要がある。たとえば今回の福島第一原発のような 1000 年に一度の事故で一基あたり 2 兆円の補償・廃炉コストが予想されると仮定しても，必要な積立金は 2 兆円の 50/1000 で 1000 億円，コスト上昇は 0.32 JPY/kWh である。合計 0.64 JPY/kWh のコスト増は現状で 5.9 JPY/kWh といわれる[22]原子力による発電コストを 11% 押し上げ，原子力発電のシェアを下げるには十分な理由となるが，強力な廃止理由にはならない。なお，内閣府原子力委員会に設置された小委員会は，事故コストを 0.0053 ～ 1.2 JPY/kWh と試算した (2011 年 10 月 26 日新聞報道) 。筆者の概算値はこの試算の範囲に入っている。

一方，原子力発電の一次エネルギーにおけるシェアは 5.8% であり，可採年数が 123 年であるからごく大雑把な目安ではあるが，原子力発電を廃止してもエネルギー資源の枯渇は 7 年しか早まらず，上述の 74 年，153 年がそれぞれ 67 年，146 年になるだけである。MOX 燃料もウランを数割節約するだけなので，7 年が 9 年になる程度であり大差ない。もちろん，今すぐに原発を止めると，電力が不足してしまうが，20 年程度かけて火力発電所を増設し，流通体制を整えれば徐々に原発をなくすことも可能である。

ただし，上述のように，現在既知の技術で 146 年を超えて現在のような文化的生活を存続させようとすれば，陸ウラン (7 年分) ・トリウム (58 年分) ・海水ウラン (1000 年～ 100 万年分) ・高速増殖炉 (720 年～ 21 億年分) ・核融合 (680 年～ 21 億年分) のいずれかが必要である。

4・2　鉱物資源

鉱物資源は今まで枯渇したことはないし[24]，これからも可採年数どおりには枯渇しない。なぜならば，まず，探鉱は鉱山の当面の計画的・安定的な操業に必要な埋蔵量 (数 10 年程度) を確保する以上には行わないからである。また，埋蔵量が不十分になれば価格が高騰し，消費量が減る。さらに，トランプエレメントの濃化など技術的な課題はあるものの，リサイクル率が高くなったり，代替物が開発される。

したがって，人口が安定化され，技術開発が続けられれば，少なくとも 100 年以内に，鉱物資源の枯渇が人類の存続にとって致命的な問題となることはないと思われる。ただし，2010 年の中国のレアアース問題に見られるように，資源の偏在に起因する供給の不安定についてはもちろん注意が必要である。

4・3　食糧不足

たしかに 1 年に 1060 万人の子供が栄養失調で死亡している[25]ものの，世界の食料の絶対量は不足していない[26]。いくつかの地域における現在の食料不足は，主に，貧困を含めた政治的な問題に起因したものである。人口が増加し続ければ，将来食糧危機がひどくなるが，人口が安定化できれば，食糧危機が時間の経過とともにひどくなることはなく，現在食糧不足が生じている地域において，貧困を含めた政治的な問題が解決されればよくなるし，

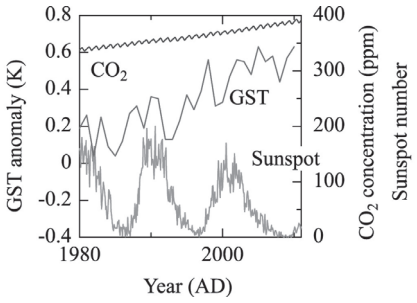


Fig.6 GST (Global-mean Surface Temperature, source: source: NASA Web site, http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/Fig.A2.txt), CO_2 concentration at Mauna Loa, Hawaii (source: National Oceanic and Atmospheric Administration Web Site, ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/co2/in-situ/mlo/co2_mlo_surface-insitu_1_ccgg_month.txt) and sunspot number (source: National Oceanic and Atmospheric Administration Web Site, ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/INTERNATIONAL/monthly/monthly.plt).

解決されなければよくならない。

4・4 水不足

詳細は専門の書に譲るが水不足はすでに地域によっては深刻であり，早急な人口安定化が必要である。バーチャルウォーターの概念を用いれば日本も既に相当の水不足となるが，たとえば，日本に輸入したアメリカの小麦を育てるのに使った水は小麦に含まれるごくわずかな水分を除き，そのほとんどがアメリカで蒸発しアメリカ周辺で循環するので，その全てを日本のバーチャルウォーターとするのは大袈裟ではないかと言う指摘もある[27]。

5. 地球温暖化

21 世紀に入ってから，二酸化炭素濃度は増え続けているのに地球の平均気温は上昇していない (Fig. 6)。この間の太陽活動は低調であるが 1991 年のピナツボ以来，VEI (Volcanic Explosivity Index，火山噴出物体積 (m^3) の対数から 4 を引いた値，端数は原則として切捨て) が 6 を超えるような大規模な噴火はなく，たった 10 年のことではあるが，地球温暖化二酸化炭素主因説を疑う理由の 1 つにはなり得る。ただし，地球温暖化の主因が二酸化炭素濃度増加か否かを議論するのは本論説の目的ではないので，ここでは，IPCC[1] に掲載されている予想に基づいて論を進める。

IPCC[1] に掲載されている西暦 2100 年までの地球温暖化の予想の中央値は気温で 3K，海面上昇は 38 cm である。東京のこの 100 年間の気温上昇は 3.3K であるが (このうち地球温暖化が 0.7K，ヒートアイランドが 2.6K である[28])，暑さのために多数の住人が東京から東京以外に移住したというような話も聞かないから，3K の気温上昇それ自体は致命的ではない。もちろん，世界的に気温が上昇した場合の影響は，大都市の気温だけが上がった場合よりもずっと大きいだろうから，ここでは，地球温暖化が人類にとって致命的である可能性は否定しない。

たとえば，白亜紀などの温暖な気候下で極域の結氷が消滅，これに起因する海洋の深層循環が停止し，撹拌されない海洋が無酸素状態に至り，大量発生した植物プランクトンの遺骸が分解されずに堆積し石油が生成したといわれている[29,30] (海洋無酸素事変，oceanic anoxic events, OAE)。このとき海洋生物が大量に絶滅したといわれており[29]，地球温暖化でも「海が腐る」と言う主張がある[31]。しかしながら，OAE の生じたときの古温度は現在よりも 17 ～ 23K 高く[30]，せいぜい 6.4K の温暖化[1] でどの程度の現象が生じるかについては，もう少し議論が必要ではないかと思われる。

IPCC[1] に基づけば，2000 年から 2050 年までに二酸化炭素排出を 100% 増加させると気温上昇は 4.6K，増加も削減もしないと 2.3K，50% 削減すると 1.6K になる。IPCC の第四次報告書の政策決定者向け要約[32] の Figure SPM.7 には，水・生態系・食料・沿岸域・健康面での温暖化により予想される問題が 18 項目示されている。この図には温暖化による，よい影響 (冷害・雪害・凍死者・脳梗塞・心筋梗塞等の減少，食糧生産能力の増加など) が食糧生産能力の増加以外は全て無視されているが，温暖化の進行に伴う悪影響の増加を検討するために用いることにする。1980 年～ 1999 年に比較した気温上昇が 1K，2K の場合は悪影響が 12 項目，よい影響が 1 であるが，3K だと悪影響のみ 16 項目，4K になると悪影響のみ 17 項目になる。1980 年～ 1999 年の平均気温に比べると 2000 年以降の平均気温は 0.2K 上昇しているので，これを考慮すると，2000 年からの気温上昇が 2.8K になると温暖化による悪影響が急増するといえる。したがって，気温が 4.6K 上昇するのは人類にとって問題と考えられる。2.3K については，問題である可能性を否定しないが，1K の場合と大差なく，ましてや 2.3K を 1.6K にしても悪影響の程度に何ら変りはない。したがって，二酸化炭素排出を増やさないことには意義があるが，無理して減らすことに意味はないと結論できる。もちろんヒートアイランドに起因する気温上昇が二酸化炭素排出を減らしても緩和することができないのは自明である。

2050 年までに 50% の二酸化炭素排出削減には 5.5% 以上の経済損失が予想されている[1]。リーマンショック等により悪化した 2009 年の世界の実質成長率は -2.0% であり (IMF ウェブサイト)，その 3 倍の経済損失は到底受け入れられるものではない。一方，筆者は，IPCC[1] の予想とは異なるが，二酸化炭素排出を減らそうとすると環境ビジネスの隆盛による経済成長と二酸化炭素排出量の増加や CCS 導入による熱効率低下[33] と化石燃料枯渇促進を導くのではないかと予想している。どちらの予想が正しいのかはわからないが，経済損失と化石燃料枯渇促進のいずれも人類の幸福に反する。

6. 本当に二酸化炭素は減らすべきか？

以上の議論を踏まえ，筆者は，二酸化炭素については，増やさない程度がちょうどよく，無理に減らそうとするのはやめたほうがよいと考えている。二酸化炭素を増やさないためには，まず，人口安定化を加速させることが必要である。次に，日本の技術の有償供与により中国・アメリカ・インドの石炭火力発電所を日本並の高効率にすると，1.3 Gt の二酸化炭素排出が削減できる[34]。これは，日本一国の二酸化炭素排出量，あるいは，石炭火力を原発 216 基分に入れ替えることによる削減量に相当する。

あるいはどうしても温暖化を抑制したいなら，大噴火による気温低下を応用して硫酸エアロゾルを成層圏に注入する方法[35] (Geoengineering proposal と呼ばれる) が大真面目に議論されていることを紹介したい。また，類似の方法で，筆者は 0.6K の気温低下を得るために 6.4 Mt/y の石灰岩の粉末を成層圏下部に注入する方法を提案している[36]。もちろん，Geoengineering に対する環境・費用面からの批判もある[37] ものの，非常に大雑把な検討ではあるが，筆者の方法のコストは概算 2 GUSD/y であり，二酸化炭素排出を 2050 年までに 50% 削減するための最低 64 GUSD/y のわずか 1/32 である。

7. 日本のなすべきこと

人間にできることは政府予算や研究者の数などにより限られているので，重要な問題の解決を優先した方がよい。その意味では，

二酸化炭素排出の削減に予算を割くのは間違いである。その代わり，人口安定化を加速するために，発展途上国への女性の教育を主体とした経済援助を増加することが望まれる。同時に避妊教育・避妊具の無料配布も効果的であろう。国連において世界的な二人っ子政策を実現させるように主張することも可能と思われる。

我が国の 2011 年 10 月 27 日現在での最大の課題は，福島第一原発から漏出した放射性廃棄物の除染と東日本大震災からの復興であるが，これらの他にも日本独自の問題として，少子化・低食料自給率 (カロリーベースで 39%，農林水産省ウェブサイト 2010 年データ) ・低エネルギー自給率 (4.1%，経済産業省ウェブサイト，2008 年データ) が挙げられる。人口安定化加速のためには少子化するに任せたほうがよいようにも思われるが，人口構成の歪みは社会に悪影響を及ぼす。我が国の人口が減るのを食い止めたとしても，世界の人口安定化には何も悪影響が及ばない。

したがって，我が国は人口維持，食料自給率向上，原子力発電の安全性向上を含めたエネルギーの安定確保，国産エネルギー (石炭の地下ガス化・炭層メタン・メタンハイドレート・海水ウラン) の開発，新技術 (高速増殖炉・核融合炉) の開発，地震関連被害低減方法の開発 (地震予知，地震警戒宣言関係の法整備，耐震補強，津波対策，被災者対策等) に努めるべきである。食料自給率向上の観点から，国内の農業を壊滅させると予想される TPP（Trans-Pacific Partnership) 参加には賛成することができない。また，たとえ我が国で原発を全廃する方針を採用したとしても，海水ウランの開発を進めておけば，鉱石ウランが不足した際に海水ウランを輸出し，他のエネルギー資源を輸入する財源にできることを指摘しておきたい。

8. お わ り に

本当に二酸化炭素は減らすべきか種々の観点から考察し，二酸化炭素は増やさない程度にして，国際的には世界の人口安定化を加速すべき，国内的には除染・大震災からの復興・人口維持・食料自給率向上・エネルギー自給率向上に努めるべきであるという結論に達した。

世の中には種々のミーム [38] (文化的遺伝子) がせめぎあっている。「地球に優しい」などといった耳障りのよいミームは妥当性に関わらず普及しやすく，いわゆる社会の空気を読んでいるだけでは，本当に何をすべきなのか見誤る危険がある。福島第一原発の事故などをきっかけに人類の将来について深く考えた読者にも，そうでない読者にも，あるいは，本論説にある程度同意できる読者にも，全く同意できない読者にも，本論説が，よりよい人類の未来のために本当にすべきことは何か，自分自身で改めて考えてみるきっかけになれば，筆者の望外の喜びとするところである。

また，筆者の浅学非才等に起因する誤解や間違いにお気付きの際はぜひご指摘いただきたくお願い申し上げる次第である。

謝辞　京都大学法科大学院生石本さやか氏には当研究室 4 年生として在籍していた際に，文献調査などでいつも助けていただいた。ここに記して謝意を表する。

References

1) IPCC: Fourth Assessment Report: Climate Change 2007.
2) D. Meadows, J. Randers, and D. Meadows: *Limits to Growth: the 30 years Update*, (Chelsea Green Publishing Company, 2004) .
3) United Nations Web Site: http://esa.un.org/unpd/wpp2008/xls_2008/DB02_Stock_Indicators/WPP2008_DB2_F01_TOTAL_POPULATION_BOTH_SEXES.XLS.
4) R. Cascioli and A. Gaspari: *Kankyo Katsudouka no Uso Happyaku*, (Yosensha, 2008) .
5) National Institute of Population and Social Security Research Web Site: http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/suikei07/houkoku/kekka-1/10-1.xls.
6) L. Brown: Plan B3.0, (World Watch Japan, 2008) .
7) V. Partida-Bush: Proc. UN Expert Group Meeting on Social and Economic Implications of Changing Population Age Structures, (UN, 2004) , pp. 285-307.
8) Manakul, W. (2010) , Personal communication.
9) Y. Arimori and UNFPA Tokyo Office: *Arimori Yuko to Yomu Jinko Mondai Hando Bukku*, (Maruzen, 2004) .
10) BP, Statistical Review of World Energy June 2009.
11) OECD/NEA-IAEA, URANIUM2009.
12) Y. Fujii and S. Ishimoto: Proc. MMIJ Fall Meeting (2010) , Vol. A, pp. 325-328..
13) S. Ishimoto (2011) : Is Human Future Rosy by Uranium from Seawater?, Graduation Thesis, (Hokkaido University, 2010) .
14) D. Mackay: *Jizokukanou na Enerugi*, (Sangyo Tosho, 2010) .
15) International Energy Agency, Key World Energy Statistics, (2010) .
16) R. V. Davies, Dr. J. Kennedy, R. W. McIlroy, Dr. R. Spence, F. R. S. C. B. and K. M. Hill: Nature, **203** (1964) , 1110-1115.
17) S. Horibe, K. Omachi and M. Sugano, *Kaiyo Kobutsu Shigen*, (Yomiuri Simbunsha, 1986) .
18) D. L. Turcotte and G. Schubert: *Geodynamics*, (Cambridge University Press, 2002) .
19) M. Tamada, N. Seko, N. Kasai and T. Shimizu: Trans. Atomic Energy Soc. Japan, **5** (2006) , 35-363.
20) Y. Fujii: Proc. MMIJ Fall Meeting (2011) , Vol. A, pp. 303-306.
21) Nikkei Sangyo Simbun, 2010, 9/28.
22) Naikakufu Genshiryoku Iinkai :http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/siryo/houkoku2/p51.pdf.
23) Agency for Natural Resources and Energy: Enerugi ni Kansuru Nenji Houkokusho 2009.
24) T. Nishiyama: *Reametaru · Shigen*, (Maruzen, 2009) .
25) C. Thompson: Why I'm not Getting the Flu Vaccine, http://philmaffetone.com/fr_flushots.cfm, browsed in 2009.
26) R. Patel: *Himan to Kiga*, (Sakuhinsha, 2010) .
27) K. Kaneko: *Personal communication* (2010) .
28) Japan Meteorological Agency Web Site: Hito Airando Kanshi Hokoku (2008, Tokai Chiho) .
29) E. Erba: Marine Micropaleontology, **52** (2004) , 85-106.
30) H. Hirano and T. Ando: J. Japan. Assoc. Petro. Tech., **71** (2006) , 305-315.
31) M. Kawabe: Civil Engineering Consultant, **251** (2011) , 16-19.
32) IPCC: Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Synthesis Report, Summary for Policy Makers.
33) T. Wall, Y. Liu, C. Spero, L. Elliott, S. Khare, R. Rathnam, F. Zeenathal, B. Moghtaderi, B. Buhre, C. Sheng, R. Gupta, T. Yamada, K. Makino and J. Yu: Chemical Engineering Research and Design, **87** (2009) , 1003-1016.
34) M. Hashiguchi, Proc. MMIJ Fall Meeting (2010) , pp. 299-300.
35) P. Crutzen: Climate Change, **77** (2006) , 211-219.
36) Y. Fujii: J. Atmos. Solar-Terrestrial Phys., **73** (2011) , 643-652.
37) M. Goes, N, Tuana and K. Keller: Climate Change, Published Online, 05 April 2011, DOI 10.1007/s10584-010-9961-z.
38) R. Dawkins: *Rikoteki na Idenshi*, (Kinokuniya Shoten, 2006) .