

人間活動に伴って排出された CO₂ の行方

山中 康裕

1. はじめに

人間活動に伴う CO₂ 排出量の約半分が陸上生態系や海洋に吸収されます。だから、まず半分になれば、大気中に残る量、すなわち、大気中 CO₂ 濃度の増加が抑えられます。2007 年 G8 サミットでの 2050 年半減に向けた宣言は画期的なものでした。やがて陸上生態系も海洋の吸収量も、新たな気候のもとで落ち着いていくので、100 年以上にわたって気候状態を安定化させていくためには今世紀末に向けて更なる削減が必要です。どの程度削減したらどうなるかを考えていきましょう。また、どのように削減するかも考えていきましょう。

2. 排出された CO₂ のゆくえ

2000 年代の人間活動に伴う CO₂ 排出量は、化石燃料使用により年間 $7.8 \pm 0.6 \text{ PgC}$ 、土地利用変化

により年間 $1.1 \pm 0.8 \text{ PgC}$ です(図 1)。化石燃料使用は 2009 年の経済危機で一時的に弱まったものの、最近では年間約 10 PgC と増加傾向が続いています。一方、土地利用変化は 1990 年代の年間約 1.6 PgC か

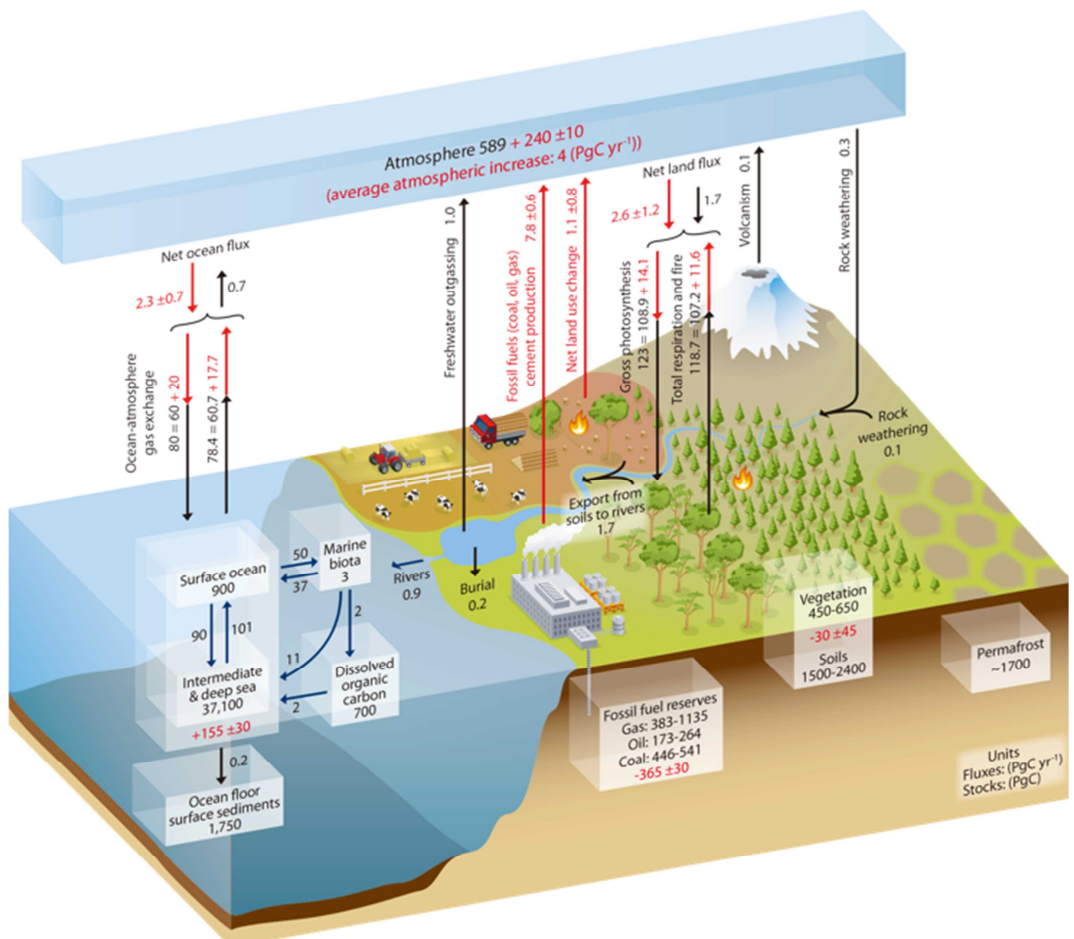


図 1: IPCC WG1 図 6.1。黒字は産業革命以前(1750 年時点)の各要素に蓄えられた炭素量およびコンポート間の年間やりとり。赤字は産業革命以降のコンポーネントの増加量および 2000 年代(2000-2009 年)の年間やりとりの産業革命以前と比べた増加量。

ら減少傾向です。一方、排出された CO₂のうち、海洋によって年間 2.3±0.7PgC、陸上生態系によって年間 2.6±1.2PgC が吸収されているため、排出量から吸収量を引いた量年間 4PgC 大気中に残り、大気中 CO₂濃度を上昇させています。

産業革命以前の大気中 CO₂濃度は 278ppm (ppm は百万分の 1 を示し、空気中約 0.03%占めることを表します)、2011 年の年平均した大気中 CO₂濃度は 391ppm に達しています。大気中 CO₂濃度は比較的均一なため、誤差は小さい(10/240=4%)。海洋による吸収量は、同じく年間 60PgC から年間 80PgC、陸上生態系の正味光合成量は、産業革命以前年間 108.9PgC から 2000 年代年間 123PgC と増加しています。これは、大気中 CO₂濃度が高くなったことにより、大気海洋間のガス交換が盛んになったり光合成が盛んになったり (CO₂ 施肥効果) するためです。と同時に、その逆向きの流れも大きくなり、両方向の差となる、海洋や陸上の吸収量が決まっています。人間活動に伴う値は、元々の海洋や陸上生態系との両方向のやりとりに比べて一桁小さくなるため、誤差は大きくなってしまいます (海洋は 0.7/2.3=30%、陸上生態系は 1.2/2.6=46%)。もともと陸上生態系は、様々なところ様々な木々等が存在しているため、それらを網羅的に計測することは難しい。衛星からのリモートセンシングなどを使う、大気との他の要素のやりとりの収支の残差から求める、大気中酸素濃度を併せて計測するなど様々な手法で見積もられ、この 20 年間で誤差は小さくなりました。

海洋の pH は約 8 の弱アルカリ性の一方、CO₂は水に溶けると弱酸です。そのため、海洋が CO₂を吸収していることは、酸・アルカリの中和反応の壮大な実験をしているとも言えます。海洋が、産業革命から 155PgC 吸収したため、海面の pH は産業革命以前から 0.1 低下しました。海洋表層は CO₂を速やかに吸収するのですが、海洋表層と中深層の海水のやりとりは約 2000 年かかるため、海洋が人間活動に伴って排出された CO₂の大部分を吸収するには、数百年単位の時間が必要になります。

3. どの程度 CO₂ 排出を削減するか？

見てきたように、海洋や陸上の吸収量を上回る排出量により、大気中 CO₂濃度が上昇するのです。

そこで、簡単な疑問「排出量を吸収量と同じくらいに抑え、大気中 CO₂濃度はそれ以上上昇しなくなるか？」を考えてみましょう。

表 1: 他の温室効果ガスを含めた CO₂濃度 (CO₂相当濃度) 別の CO₂排出削減率と気温変化 (IPCC WG3 報告書より)

CO ₂ 相当濃度別分類	RCP シナリオ	2010に対する削減率		気温変化(1850-1900基準)				
		2050年	2100年	2100年の気温変化	21世紀中の気温が留まる可能性			
					<1.5°C	<2.0°C	<3.0°C	<4.0°C
< 430		Number of individual model studies have explored levels below 430ppm CO ₂ eq						
450 (430-480)	RCP2.6	-72 to -41	-118 to -78	1.5-1.7 (1.0-2.8)	どちらかと言えば低い<50%	可能性が高い>66%	可能性が高い>66%	
500 (480-530)	RCP4.5	-57 to -42	-107 to -73	1.7-1.9 (1.2-2.9)	可能性が低い<33%	どちらかと言えば高い>50%	可能性が高い>66%	
		-55 to -25	-114 to -90	1.8-2.0 (1.2-3.3)		半々 ~50%		
550 (530-580)	RCP4.5	-47 to -19	-81 to -59	2.0-2.2 (1.4-3.6)	可能性が低い<33%	どちらかと言えば低い<50%	可能性が高い>66%	
		-16 to 7	-183 to -86	2.1-2.3 (1.4-3.6)		可能性が低い<33%		
(580-650)	RCP4.5	-38 to 24	-134 to -50	2.3-2.6 (1.5-4.2)	可能性が低い<33%	どちらかと言えば高い>50%	可能性が高い>66%	
(650-720)		-11 to 17	-54 to -21	2.6-2.9 (1.8-4.5)		どちらかと言えば低い<50%		
(720-1000)	RCP6.0	18 to 54	-7 to 72	3.1-3.7 (2.1-5.8)	可能性が低い<33%	可能性が低い<33%	可能性が高い>66%	
>1000	RCP8.5	52 to 95	74 to 178	4.1-4.8 (2.8-7.8)	可能性が低い<33%	可能性が低い<33%	どちらかと言えば低い<50%	

もし、吸収量が変わらなければ、答えは明らかに Yes です。大気中 CO₂ 濃度が一定になれば、そのもとでの海洋や陸上生態系の吸収量が決まります。その量は、現在より徐々に減っていきませんが、例えば、海洋表層から中深層に運ばれる CO₂ 量だけ、今後も海洋は CO₂ を吸収していきますので、大気中 CO₂ 濃度一定後も 1PgC 程度吸収することが数百年程度続きます。結論的に言えば、排出量を 2050 年には半減、2100 年には 90% 減にすると、他の温室効果ガスを含めた CO₂ 濃度(「CO₂ 相当濃度」と呼ばれています)を 450ppm 以下に抑え、産業革命以前の気温に比べ、約 2°C 上昇に抑えることが出来ます。これは表 1 の RCP2.6 というシナリオに相当します。他方、今後も経済活動をそのまま続けていくシナリオである RCP8.5 では、CO₂ 相当濃度が 1000ppm を超え、気温上昇も 4 度を超えていきます。他の講演で紹介される地球温暖化の影響は、約 2°C 付近から顕著になりますので、CO₂ 排出削減する積極的な努力が必要ということが明らかになっています。

4. どうやって CO₂ 排出を削減するか？

1992 年地球サミットでは、現在の地球環境問題の考え方の原点となる「リオ宣言」や気候変動枠組み条約が締結されました。そのもとで、1997 年に京都議定書が生まれました。「リオ宣言」では“共通だが差異のある責任”が謳われています。これは、地球温暖化に対して、発展途上国にも責任があるが、先進国の方がより重い責任があるというものです。京都議定書では、1990 年に比べて、2008-2012 年の第一約束期間を通じて、先進国全体で 5% 削減するというものでした。1990 年における先進国は世界全体の排出量の約 6 割でしたので、全体で 3% 削減に相当します(図 2)。中国は、2000 年頃には 2030 年に世界一の排出国になると考えられていましたが、現在でも米国をはるかに上回る世界一の排出国になりました。先進国の排出量はあまり変化していませんが、世界全体の約 4 割になりました。これは、地球温暖化の進行を防ぐにはあまりにも小さな結果ではありますが、京都議定書がほんの少し効果を現した結果です。

日本は、図 3 にあるように、京都議定書で約束した 1990 年に対して 6% 削減を達成しました。但し、それは京都メカニズムという国外で CO₂ 排出量を減らした分を考慮し、かつ、森林を適正に管理したという(消極的な CO₂ 排出抑制)を加味した上での話です。CO₂ 排出量が 2009 年に一時的に減ったのはリーマン・ショックによる経済停滞、2011 年・2012 年と増加したのは、東日本大震災の影響です。基本的には、大幅な削減がなされていないのが現状です。さらに、もし、輸入品が生産時に派生する CO₂ 排出量を、輸入国での排出するとすると、図 2 の薄い色のように示すようになります。また、日本では、なんと 17% 増加することになります。1990 年以降に輸入量が増加したことを考え

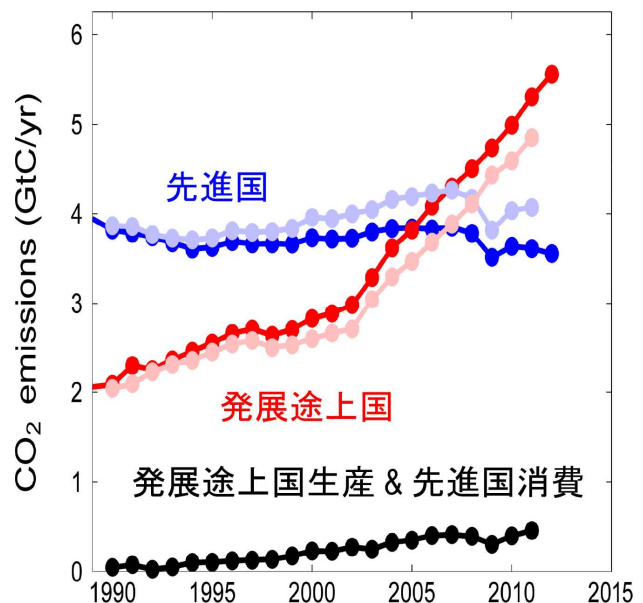


図 2: 先進国と発展途上国の CO₂ 排出量(GtC/yr (=年間 PgC))。薄い色が輸出入に伴う CO₂ を考慮したもの(詳しくは本文参照)。

図1-1-6 我が国の温室効果ガス排出量と京都議定書の目標達成状況

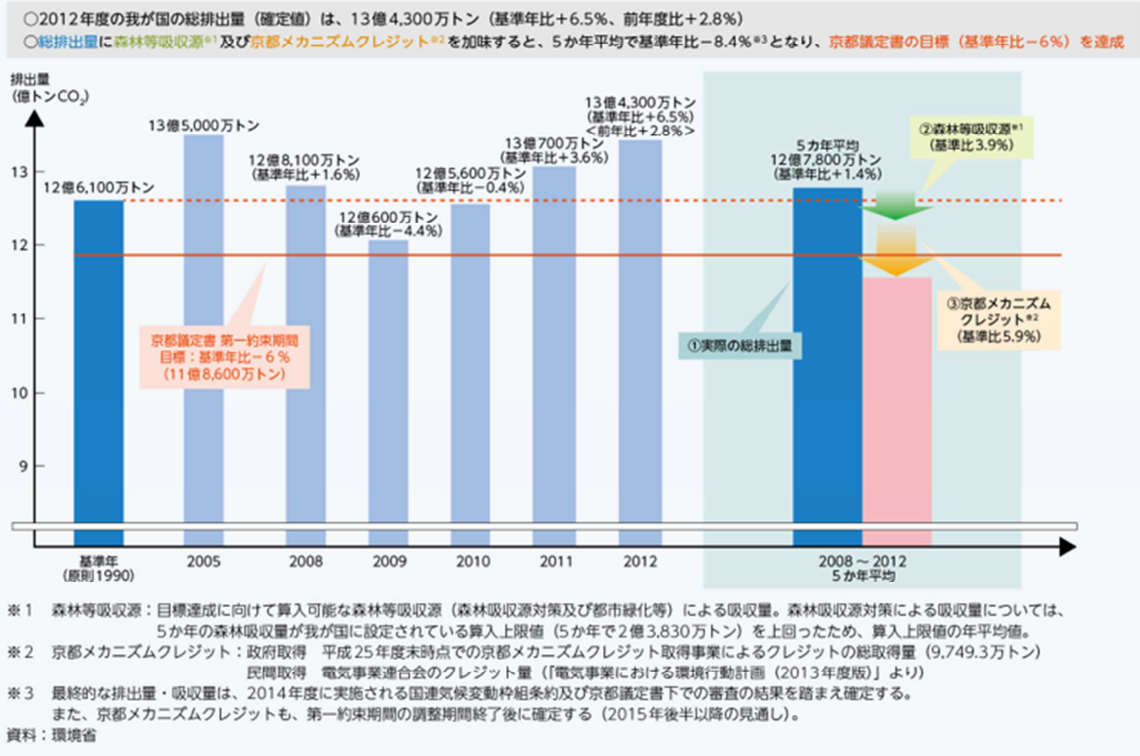


図3: 日本における京都議定書の目標達成状況(環境省, 2014)

ると、日本はCO₂排出量を削減したことになるのでしょうか？これ自身は、輸入品をどう思う気持ちで購入するかという消費者の判断が求められています。

5. おわりに

地球温暖化を防ぐためには、2050年にCO₂排出量を半減する必要があります。これは、2007年ハイリゲンダムG8サミットで検討していくことが合意されました。その際、日本は7,8割削減させる必要があります。研究の上では、これからしっかりと削減対策をいけば可能とは言われています。しかし、もはや待ったなしの状況です。また、温暖化は徐々に進行していきますので、我々も徐々に温暖化対策を絶え間なく進めていく必要があります。もちろん、日本には少子高齢化などの問題も抱えています。

最後に、時間があれば、大学において、人材育成を進めることで、環境対策を進めていこうと考えて設立した、環境起学専攻実践環境科学コースについてご紹介します。

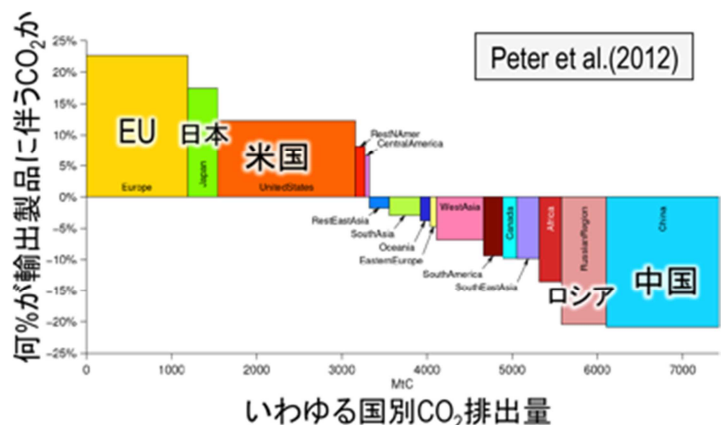


図4: 貿易に伴うCO₂排出量の移動(その国の排出量に対する%)。横軸は国別の排出量なので、各国の面積が絶対値(MtC)に相当する。