

**Our Earth: A planet created by life.**

**–Rethinking of “How human-nature relation ought to be?” –**

(The English version follows after the Japanese version.)



### 脱炭素だけが問題か

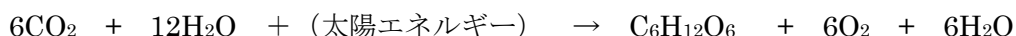
現在、CO<sub>2</sub>増加に伴う地球環境の変化が大きな課題となっています。パリ協定では、2050年までにグローバルなCO<sub>2</sub>排出量をゼロにすべく、各国に努力が要請されています。先日、日本政府も、ようやく、わが国としてもこの目標を掲げることを決定しました。この目標を達成するためには、様々な技術的イノベーションも必要とされますが、もっと大切なことは、私たちの住む地球に対する価値観や考え方の変革とそれに伴う社会の変革です。ここで、人類を含む生物が、その生存を依拠してきた地球とはどのような仕組みであり、そして、未来可能な地球にとっては、人類は何をしていくべきか。地球史を振り返りつつ改めて考えてみます。

### 気候と生命圏は相互作用系である

図1は、人類を含む生命が棲む地球の表層システムを模式的に示しています。大気圏には、地表近く10数kmの厚さをもつ対流圏の上に、高度約50kmまで成層圏という比較的安定な層があります。成層圏はオゾン(O<sub>3</sub>)層が含まれており、生物にとって危険な太陽からの紫外線のほとんどがこの層により吸収されるため、地上の生物にとって大切な大気層となっています。このオゾンは、図にあるように、酸素(O<sub>2</sub>)が紫外線の下での光化学反応で形成・維持されています。この光化学反応の過程で太陽からの紫外線吸収により大気温度が高くなり、成層圏が形成されています。オゾン層形成のもとになっている対流圏からの酸素は、地上の生命圏における光合成で作られたものであり、生命圏はオゾン層を形成することにより、生命圏自身の維持にも大きく寄与することになります。この成層圏は、生命圏にとってもうひとつの重要な役割を果たしています。高温で安定な層としての成層圏の存在は、対流圏からの水(H<sub>2</sub>O)を(氷結させて重力で下に戻す)コールドトラップという、鍋の蓋のような仕組みによって、水の循環を対流圏での閉鎖系の循環にすることにより、水が宇宙空間に散逸することを抑えているのです。(金星はこの仕組みがなかったために、水のない惑星になってしまったようです。)すなわち、生命圏は光合成をとおして形成された酸素を上空に供給してオゾン層(成層圏)を形成させることにより、紫外線のフィルターカットと、水循環を対流圏に留めることで、自らの維持をしていることとなります(安成、2019)。

### 生命圏と地球環境は共進化してきた

つぎに、光合成に必要なもうひとつの物質CO<sub>2</sub>について考えてみましょう。46億年の地球史の中で、現在の地球環境を決定づけたのは、地球創成時から地表面に存在できた(液体としての)水(H<sub>2</sub>O)と、大気の成分として(今以上に)ふんだんにあった二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)と、そして太陽光を利用して、生命が生きるためのエネルギー源を作り出す仕組み、すなわち、光合成の機能を、地球の生命(植物)が持ったことによります。すなわち、



という化学反応を可能にしたことです。二酸化炭素と太陽エネルギーを利用して、水(H<sub>2</sub>O)という水素と酸素が強く結合してできた非常に安定な物質を分解して(C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>)という炭水化物(生物のエネルギー源)を作り出し、同時に酸素(O<sub>2</sub>)を大気に放出するプロセスです。この仕組みが生命体の中で生まれるまでには、地球創成以来、実に20億年以上の長い年月がかかっています(安成通信 No.25、2017)。植物が作りだした酸素を呼吸し、炭水化物を食べることは、人類を含めた動物たちにとって、生きていくために必須の条件となっています。その後、生物全体の進化は、恒星進化のダイナミクスに伴う太陽エネルギーの長期的変化や、プレートテクトニクスによる海陸分布の変化や火山活動に伴うCO<sub>2</sub>濃度の変化に対応しながら、生命圏自体を変

化させることにより、地球表層の環境を大きく、時には劇的に変えていきました。その中でも、150億年の寿命を持つという太陽は、恒星進化のメカニズムにより、地球に降り注ぐ太陽エネルギーの強さは、次第に強くなっており、地球の表面気温も次第に高くなってきたはずですが、しかし、実際にはそうならず、むしろ、創成以来現在まで全体として寒冷化しており、その傾向は陸上の植物群が出現してからは特にはっきり現れています。地球表層の気温が上昇しなかった最大の理由は、地球上の植物群の拡大による光合成活動の強化により、強い温室効果を持つ二酸化炭素濃度を減少させてきたこと（図2）で、太陽光が強くなる効果を相殺してきたから、と指摘されています(Lovelock and Watson, 1982 など)。地球の環境変化は生物の進化に影響を与えてきましたが、同時に、生物の進化も地球の気候・環境変化を調節してきたわけです。図1に示された、相互作用系としての大気・水循環・生態系も、このような生命圏と地球環境の「共進化」における、ひとつの動的平衡系として理解する必要があります。図2で大気中のCO<sub>2</sub>濃度が大きく減少した時期（4～3億年前、1.5億年～1億年前、5～1千万年前など）に、CO<sub>2</sub>は植物遺体のセルロースとして地中に埋没し、現在の石炭・石油が作られたのです。見方を変えれば、石炭・石油は、強くなる太陽エネルギーに抗して地球の気候を安定させようとする生命圏のリアクションの結果作られた副産物といえます。

### 人類は出現以来、何をしてきたか？

このように生命圏が地球表層圏と共進化していく中で、人類は約200万年前に出現し、氷期が終わった1万年前以降の完新世(Holocene)の比較的温かな気候の下で農耕を開始し、文明を築き始めました。そして、18～19世紀に西欧で開始された産業革命以降のグローバル資本主義的経済活動は、生命圏が数億年をかけて大気から地中に石炭・石油として蓄えてきた炭素を、大量の「化石エネルギー資源」として利用することで大気にCO<sub>2</sub>として放出し、完新世の1万年間、280ppm程度で維持されていた大気中のCO<sub>2</sub>濃度を、わずか200年たらずの間に、1千万年前の濃度に相当する400ppm以上に増やしてしまいました。IPCC(2013)の予測では、排出量規制がゆるいシナリオにもとづく予測では、2100年には新生代初め（5千万年前）かそれ以前のの超温暖な気候になってしまいます(図2参照)。

炭素循環の他に、生命圏が関与している重要な物質循環に窒素循環がありますが、農業の拡大や森林破壊によって生成される一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)増加は、オゾン層破壊と地球温暖化の両方を進行させるとして、最近強く危惧されています(Ravishankara et al, 2020; Tian et al, 2020)。特に「人新世(The Anthropocene)」とよばれている20世紀後半以降の加速度的に進行している農地拡大、都市化、森林破壊などにより、完新世に続いていた大気・水(物質)循環・生態系の動的平衡は、すでに崩されつつあり、この系が急激に別の状態に変わってしまう転換点(tipping poin)に近づいているという報告(Steffen et al., 2015 ; Steffen et al., 2018 など)もあります。

ただ、生命圏の一員がホモ・サピエンス(賢いヒト)として唯一最大の貢献は、このような地球と生命圏の仕組みと変化(あるいは進化)に関する理解に達したことでしょう。しかし、「では、どうすべきか？」という問題まで含めて考えないと、ホントに「賢いヒト」ではないですね。

### 生命圏と共存する経済・社会体制の構築を

冒頭でのべましたように、現在、地球温暖化(気候変動)を抑えるためのCO<sub>2</sub>排出量ゼロ目標が世界の合意になりつつあります。しかし、生命圏の一員としての人類が、長期的な視点で未来可能な地球社会をめざすためには、物理化学的な地球システムとの共進化を行ってきた生命圏と、より調和的に機能する経済・社会体制を築いていくことしかありません。それは、無限の資源を求めて、一部の人間だけの利潤と富を求めていくことを基本にした資本主義では無理なことは自明です。地球の生命圏とその維持に必要な物質循環系を、すべての人間が享受できるグローバルコモンズとして捉え、それに太陽光などの自然エネルギーを活用する経済・社会体制を求めていくしかないでしょう。自然の物質代謝と循環を晩年に深く学んだカール・マルクスは、コミュニズムとは、このようなグローバルコモンズの持続的活用をめざすエコ社会主義であるべきという考えに

至ったとも指摘されています（斎藤、2020a,b）。多様な生態系からなる生命圏と共存・調和しつつ、それらを活用する経済・社会体制とは、当然、ローカル、リージョナルな地域性を踏まえつつ、地球全体の生命圏の持続可能性を担保できる体制であるべきでしょう。「人と自然のあるべき姿」とは、そのようなものではないかと、今、改めて考えています。

**参考文献:**

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, 1535 pp.

Lovelock J.E. and A.J.Watson,(1982): Planetary & Space Science, 30, 795-802.

Steffen, W. et al.(2015): Science, 347, DOI: 10.1126/science.1259855

Steffen, W. et al.(2018): Proc.Nat.Acad.Sci., www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1810141115

Ravishankara, A.R. et al.(2020): Science, 326, 123-125

Tian, H. et al.(2020): Nature, 586, 248-256.

斎藤幸平 (2020a) : 人新世の「資本論」 集英社新書 375pp

斎藤幸平 (2020b): 大洪水の前に—マルクスと惑星の物質代謝 堀之内出版 352pp

(English version: Saito, K.(2017): Karl Marx’s Ecosocialism. New York: Monthly Review Press.)

安成哲三 (2019) : 地球気候学 東京大学出版会 232pp

安成哲三 (2017) : 安成通信 No.25 水と生命

[https://www.chikyu.ac.jp/yasunari/yasunari.bak/tsushin/yasunari\\_tsushin.html](https://www.chikyu.ac.jp/yasunari/yasunari.bak/tsushin/yasunari_tsushin.html)

図1 : 大気圏（対流圏、成層圏）、水圏、生命圏が相互作用系としての地球表層（安成, 2019）  
 Figure 1: Earth's surface layer with the atmosphere (troposphere and stratosphere), hydrosphere, and biosphere as interacting systems (Yasunari, 2019)

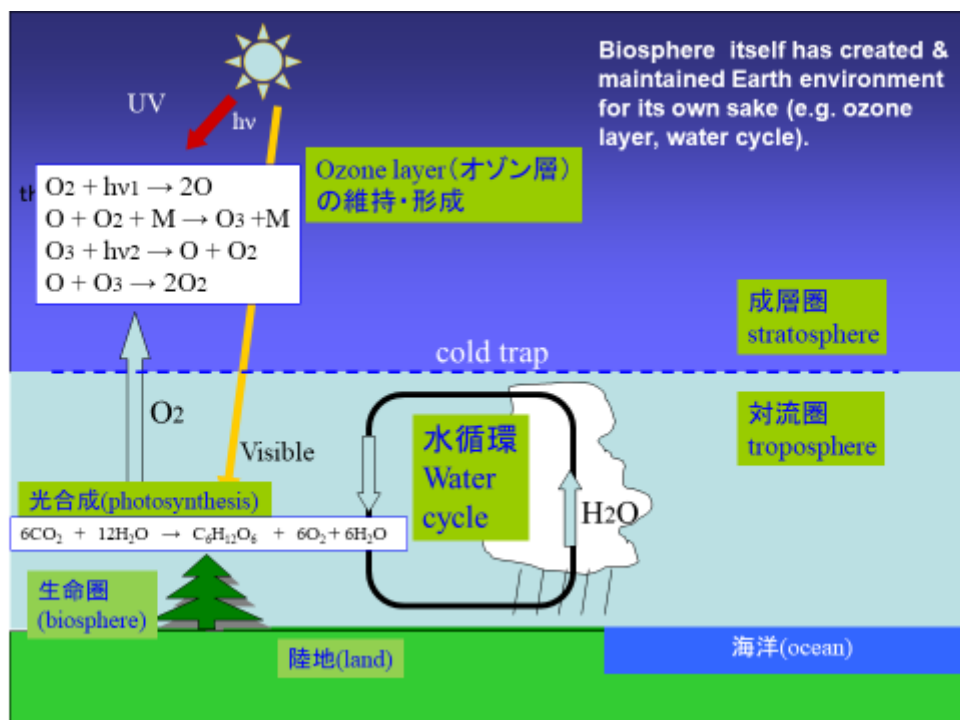
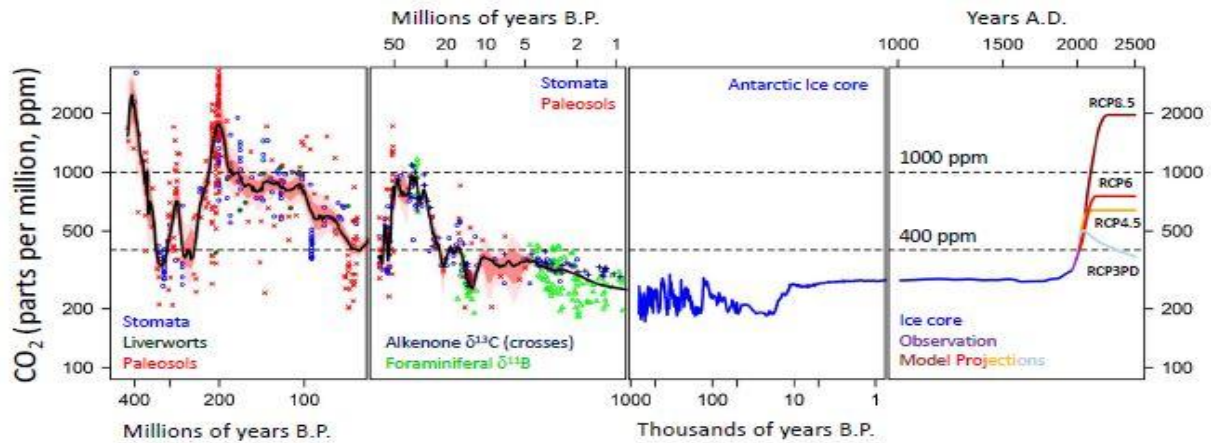


図2：過去4億年以降、現在および（IPCCシナリオによる）未来（予測値）の大気中のCO<sub>2</sub>濃度の変化。時間スケールが、4つの時代で異なっていることに注意。

Figure 2: Changes in current and (projected) future (according to IPCC scenarios) atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations

since the past 400 million years. Note that the time scales are different between the four periods.

<https://e360.yale.edu/features/how-the-world-passed-a-carbon-threshold-400ppm-and-why-it-matters>



<English version>

安成通信(Yasunari Tsushin: Essay from Tetsuzo Yasunari)

2020/11/02 生命が創った惑星：地球 – 「人と自然のあるべき姿」再考–

On our Earth: A planet created by life. –Rethinking of “How human-nature relation ought to be?” –

### Is decarbonization the only problem?

Today, climate change caused by increasing CO<sub>2</sub> emissions has become a global issue. Under the Paris Agreement, each country is required to make efforts to reduce global CO<sub>2</sub> emissions to zero by the year 2050. Recently, the Japanese government has finally decided to set this goal for Japan as well. In order to achieve this goal, a variety of technological innovations are needed, but more importantly, we must change our values and ways of thinking about the planet we live on, and the changes in society that come with it. What kind of system is the Earth on which human beings and other organisms depend for their survival, and what should humanity do for a viable planet? I will re-think about “How human-nature relation ought to be?”, by looking back at the long history of the Earth.

### Climate and the biosphere as an interacting system

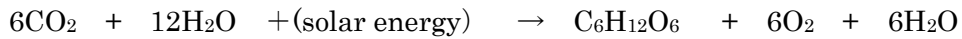
Figure 1 schematically illustrates the system of the Earth's surface where life, including human beings, lives. The atmosphere has a relatively stable layer of the stratosphere at an altitude of about 50 km above the troposphere, which is about 10 or so kilometers thick near the surface. The stratosphere contains a layer of ozone (O<sub>3</sub>) that absorbs most of the sun's ultraviolet radiation that is dangerous to life, making it an important atmospheric layer for life on the Earth. This ozone is formed and maintained by a photochemical reaction of oxygen (O<sub>2</sub>) under UV light, as shown in this figure. In the process of this photochemical reaction, the absorption of ultraviolet radiation from the sun raises the temperature of the atmosphere, and thus the stratosphere is formed. Oxygen from the troposphere, which is the basis of the formation of the ozone layer, is produced by photosynthesis in the terrestrial biosphere and is transported to the upper layer. Thus, the biosphere contributes greatly to the maintenance of the biosphere itself

through the formation of the ozone layer.

This stratosphere plays another important role in the biosphere. The existence of the stratosphere as a stable layer keeps water from dissipating into space, by means of a mechanism called a cold-trap (which freezes water (H<sub>2</sub>O) from the troposphere and gravitates it back down), which keeps water within the troposphere as a closed system for water cycle. (Venus seems to have become a waterless planet because of the lack of this “cold-trap” mechanism.) In other words, the biosphere sustains itself by filtering out UV light and keeping the water cycle in the troposphere by supplying oxygen formed through photosynthesis to the upper atmosphere to form the ozone layer (stratosphere) ( Yasunari, 2019).

### **Co-evolution of the biosphere and the global environment**

In the 4.6 billion years of Earth's history, what has determined the current environment of the Earth is life (plants), which have the function of photosynthesis, by using water (in liquid form), and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), which has been in abundance since the beginning of the atmosphere, even greater abundance than it is today, and solar energy. Namely,



This process uses carbon dioxide and solar energy to decompose water (H<sub>2</sub>O), a very stable substance made up of strongly bonded hydrogen and oxygen, into a carbohydrate (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) (energy source for living organisms), while simultaneously releasing oxygen (O<sub>2</sub>) into the atmosphere. It has taken more than 2 billion years since the creation of the Earth for this mechanism to emerge in living organisms (Yasunari Tsushin no. 25, 2017). Breathing oxygen produced by plants and eating carbohydrates are essential for animals, including humans, to survive. Subsequently, the evolution of the biosphere (including the whole organisms) has changed the environment of the Earth's surface layer significantly, sometimes dramatically, by changing the biosphere itself in response to long-term changes in solar energy associated with the dynamics of stellar evolution, changes in the distribution of oceans/continents due to plate tectonics, and changes in CO<sub>2</sub> concentration due to volcanic activity.

The Sun, which has a life span of 15 billion years, should have gradually increased the intensity of the solar energy falling on the Earth through the mechanism of stellar evolution, and the surface temperature of the Earth should have gradually increased. However, this has not been the case; rather, the planet as a whole has been getting colder and colder since its creation until now, and this trend has been particularly evident since the emergence of the terrestrial flora. It has been suggested that the main reason for relatively stable global surface temperatures is that enhanced photosynthetic activity due to the expansion of the Earth's plant population has reduced carbon dioxide concentrations, which have a strong greenhouse effect (Figure 2), offsetting the effect of stronger sunlight (Lovelock and Watson, 1982, etc.). Changes in the Earth's environment have affected the evolution of biosphere, and at the same time, the evolution of biosphere has also regulated changes in the Earth's climate and environment. As shown in Figure 1, it is important to understand that the atmosphere, the water cycle, and ecosystems as an interacting system must be understood as a dynamic equilibrium system in the "coevolution" of the biosphere and the global environment. As shown in Fig. 2, when atmospheric CO<sub>2</sub> concentration decreased significantly (400-300 million years ago, 150-100 million years ago, 50-100 million years ago, etc.), CO<sub>2</sub> was buried in the ground as cellulose from plant remains, which were finally changed to coal and oil as we know today. From a different perspective, coal and oil are byproducts of the biosphere's reaction against the increasing solar energy to stabilize the Earth's climate.

## **What has mankind done since its emergence?**

While the biosphere was co-evolving with the Earth's surface sphere in this way, humans emerged only about 2 million years ago, and began agriculture under the relatively mild climate of the Holocene epoch (Holocene era) after the end of the glacial period 10,000 years ago, and began to build up their civilization. Global capitalist economic activity since the Industrial Revolution started in Western Europe in the 18th and 19th centuries has used the carbon stored in the form of coal and oil as a massive "fossil energy resource" to release large amounts of CO<sub>2</sub> into the atmosphere. During the 10,000 years of the Holocene era, CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere was kept at around 280 ppm, but within less than 200 years, it has been increased to more than 400 ppm, which is equivalent to the concentration of 10 million years ago. The IPCC (2013) projections, based on some scenario with looser emissions limits, would result in a super-warm climate in 2100, which may correspond to the temperature at the beginning of the Cenozoic Era (50 million years ago) or earlier (as shown in Fig.2).

Besides the carbon cycle, the nitrogen cycle is another essential material cycle involving the biosphere, and the increase in dinitrogen monoxide (N<sub>2</sub>O) produced by agricultural expansion and deforestation etc. has recently been strongly feared as a cause of both ozone layer depletion and global warming (Ravishankara et al, 2020; Tian (et al, 2020) The accelerated expansion of agricultural land, urbanization, and deforestation since the latter half of the 20th century, known as the Anthropocene, has already disrupted the dynamic equilibrium of the atmospheric, hydrological (material), and ecological systems maintained during the Holocene. Some recent studies has reported that this system is rapidly changing to a different state, approaching a tipping point (e.g. Steffen et al., 2015; Steffen et al., 2018).

However, perhaps the single greatest contribution that humans as *Homo sapiens* (meaning "smart humans") have made as members of the biosphere is that we have gained this understanding of how the Earth and the biosphere work and have changed (or evolved). However, we should include the question of "What should we do then?", if we are really a "smart humans".

## **Towards an economic-social system harmonizing with the biosphere**

As I mentioned at the beginning of this article, the goal of zero CO<sub>2</sub> emissions in order to curb global warming (climate change) is now becoming a global consensus. However, in order for humanity as a member of the biosphere, to achieve a sustainable global society, we have no choice but to build a new economic and social system that functions more harmoniously with the biosphere, which has co-evolved with the Earth system for more than 2 billion years or so. It is self-evident that this is impossible with a capitalism based on the pursuit of profit and wealth for only a few people, consuming unlimited natural resources of the Earth. The only way to achieve this may be to view the Earth's biosphere and associated material cycles as a "global commons" that can be enjoyed by all human beings. We, then, need to seek an economic and social system that makes use of the global commons with the aid of natural energy such as solar power. It has been pointed out recently that Karl Marx of the 19<sup>th</sup> century, who studied the metabolism and circulation of natural materials in depth in his later years, came to the idea that the communism should be an eco-socialism that aims at the sustainable use of such a global commons (Saito, 2020a,b). An economic and social system that coexists and harmonizes with the biosphere of diverse ecosystems and utilizes them should be a system that can guarantee the sustainability of the global biosphere, taking into account its local and regional characteristics. As such, I would like to rethink a possible answer for "how the human-nature relation ought to be? ".