

2. 地球は釣り合ったシーソーの上に

地球はエネルギーのシーソーの上

人類の贅沢によりどのような物質が浪費され、どのような物質が無為に生産されているか化学的に検証するためには、まず、地球の本来の姿を考える必要があると考えました。特に、ここでは地球全体のエネルギー収支を考えて見ましょう。

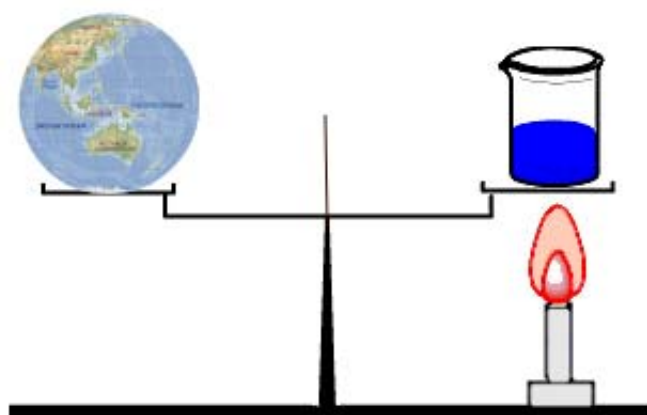


図2-1 釣り合った地球

地球は 45 億年前に誕生してから、太陽の引力圏内であって太陽の周りを公転しており、地球の引力圏内で月の周りを公転しています。さらに、地球自身も約 24 時間周期で自転しています。この 3 つの天体が相互作用しているため、その運動は徐々に遅くなっており、その変化で生ずるエネルギーは太陽から供給される光エネルギーに比べれば僅かですが、潮汐現象や偏西風などのような運動エネルギーの形で地球に影響を与えています。この 3

つの天体の相互作用以外の惑星間の相互作用は無視できるほどわずかしか受けていません。

地球が太陽から 1.5 億 km 離れていますから、太陽の輻射する光エネルギーはその 4.8 億分の 1 とごく一部しか地球には到達しません。しかし、水素の核融合反応で高温に燃えている太陽は毎秒 10^{23} kcal の大量の光エネルギーを輻射し続けていますから、地球全体が受ける太陽の光エネルギーは毎秒 1.5×10^{13} kcal もの膨大なものです。地球に到達した光エネルギーの 70% に相当する毎秒 1.0×10^{13} kcal のエネルギーは大気中および地表に吸収されて地球の持つ総エネルギー量を増加させますが、残りの 30% は反射してしまいます。地球は太陽などに比べれば極めて低温ですが、宇宙空間に比べればかなり高温を保っていますから、地球自体も大量の熱エネルギーを輻射しております。図 2-1 の漫画のように、この地球が熱輻射する総エネルギーは、自転や公転などの地球の運動が遅くなった時に発生するエネルギーと、太陽から供給される光エネルギーの総和に釣り合っています。45 億年という長い年月の間に地球の持っていた運動エネルギーの変化と太陽から供給される光エネルギーが宇宙空間への熱輻射などによる地球の消費するエネルギーと釣り合うようになり、現在の状態の地球を維持できるようになって来ました。言い換えれば 45 億年かけてエネルギー的なシーソーは釣り合うようになったと考えられます。現在の地球はエネルギーのシーソーに乗っており、エネルギーの総量に変化がありませんから、地球はエネルギー的には外界から遮断され独立した一つの世界と考えることが出来ます。

エネルギー不滅の法則

自転や公転などの地球の運動が遅くなった時に発生するエネルギーと、太陽から供給される

光エネルギーの総和は地球が熱輻射する大量の熱エネルギーに釣り合っています。現在の地球はエネルギーのシーソーに乗っており、エネルギーの総量に変化がありませんから、地球はエネルギー的には外界から遮断され独立した一つの世界と考えることが出来ます。

地球の自転や公転は地球自体が持っている運動エネルギーによるものですが、この地球の運動の僅かずつ遅くなる変化により、発生するエネルギーは海水面を定期的に上下させる潮汐現象をもたらします。また、大気の上層部で偏西風の現象の原因にもなっています。つまり、海水や大気の運動のエネルギーに変換されています。

地球に吸収された太陽の光エネルギーは熱エネルギーに変換されて大気や地表を温めます。このとき地表の材質の違いにより暖まり方が必ずしも一様でないため、温度差が生じます。この温度差は対流を引き起こし、大気中に低圧部と高圧部を生みますから大気の流れとなります。また、海水中の温度差は黒潮や親潮やメキシコ湾流となって海水の対流を引き起こします。結果として太陽の光エネルギーは熱エネルギーに変換し、さらに運動エネルギーに変換されます。また、太陽の光エネルギーから変換された熱エネルギーは、地表の水を蒸発させて雲を生み、大気の流れに乗って海から遠く離れた地まで水蒸気は移動し、雨や雪を降らせる循環を引き起こします。水蒸気の移動により高地に降った水は海まで流れ下ります。このとき太陽から供給された熱エネルギーは水の運動エネルギーに変換されますが、雷などの電気エネルギーに変換されることもあります。さらに、地表に到達した太陽の光を吸収して植物は二酸化炭素からブドウ糖への還元により化学エネルギーに変換されます。高い化学エネルギーを持ったブドウ糖などの還元物質は二酸化炭素まで酸化されることにより、その化学エネルギーは生物の生命を維持するために消費されます。また、化学エネルギーを持った還元物質は、ごく一部ですが石炭や石油などの化石燃料として 45 億年の間に蓄えられてきました。

光エネルギーから、熱エネルギー、運動エネルギー、化学エネルギー、電気エネルギーなど色々な形にエネルギーは変換されていますが、外界から遮断され独立した一つの世界として、地球の中ではエネルギー不滅の法則が成り立っています。これらの各種のエネルギーの割合も長い年月の間に平衡になり、一定な潮流や潮汐運動を続け、規則的な気候変化を維持するようになって来ました。

地球を構成する元素は不変

自転や公転などの地球の持っていた運動エネルギーの変化と太陽から供給される光エネルギーが地球の熱輻射熱として消費するエネルギーとシーソーのように釣り合っていると考えられ、エネルギーの総量に変化がありませんから、外界から遮断され独立した一つの世界と考えることが出来ます。次に、人類の贅沢によりどのような物質が浪費され、どのような物質が無為に生産されているか化学的に検証するために、ここでは地球全体の物質収支を化学的に考えて見ましょう。

太陽の光エネルギーのほかに、太陽の中で起こっている核融合反応の折に副生する中性子や原子やイオンも宇宙線となって太陽から放射され、地球上にも到達しています。また、隕石などの形で地球の引力圏内に吸収されてしまう小さな天体も原子やイオンからなっています。地球の引力が小さいために地球からの脱出速度は毎秒 11.18km ほどしかありませんから、このような元素の増加とは反対に分子運動の速度が大きな水素やヘリウムは 45 億年の間にほとんど

散逸してしまいました。表 2 - 1 には、宇宙の平均的な元素組成と、地球の元素組成を比較しておきましたが、この表からも明らかなように、地球では極端に水素とヘリウムが少ししか存在しません。分子運動の速度の大きな水素やヘリウムの分子は既に地球から散逸してしまっていることを意味しています。分子運動の速度が遅い分子だけが現在の地球に存在し、もはや

表 2 - 1 地殻中と宇宙における元素存在比 (%)

元素	地殻中	宇宙		
		Suess.Urey (1856)	Cameron (1966)	松井義人 (1967)
¹ H	0.14	92.8074	92.2190	86.0215
² He	0.00	7.1462	7.4928	13.7097
⁶ C	0.18	0.0081	0.0478	0.0331
⁷ N	0.01	0.0153	0.0086	0.0098
⁸ O	46.60	0.0499	0.0836	0.0753
¹⁰ Ne	0.00	0.0200	0.0084	0.0427
¹¹ Na	2.80	0.0001	0.0001	0.0002
¹² Mg	2.10	0.0021	0.0030	0.0028
¹³ Al	8.10	0.0002	0.0003	0.0002
¹⁴ Si	27.70	0.0023	0.0029	0.0027
¹⁵ P	0.12	0.0000	0.0000	0.0000
¹⁶ S	0.05	0.0009	0.0017	0.0013
¹⁷ Cl	0.03	0.0000	0.0000	0.0000
¹⁸ Ar	0.00	0.0003	0.0007	0.0006
¹⁹ K	2.60	0.0000	0.0000	0.0000
²⁰ Ca	3.60	0.0001	0.0002	0.0002
²² Ti	0.44	0.0000	0.0000	0.0000
²⁴ Cr	0.02	0.0000	0.0000	0.0000
²⁶ Fe	5.00	0.0014	0.0024	0.0024
²⁸ Ni	0.00	0.0001	0.0001	0.0001
³⁷ Rb	0.03	0.0000	0.0000	0.0000
³⁸ Sr	0.03	0.0000	0.0000	0.0000
⁴⁰ Zr	0.02	0.0000	0.0000	0.0000
⁵⁶ Ba	0.03	0.0000	0.0000	0.0000
⁹² U	1 × 10 ⁻⁵	0.0000	2 × 10 ⁻⁵	1 × 10 ⁻⁵

全く散逸しませんから、地球を構成する 6.0×10^{24} kg の質量の元素と比較すると、その元素の増減は無視できるほど微量です。しかもその約半分の元素は酸素、約 1/4 の元素はけい素です

からほとんど岩石と考えることができます。

言い換えれば、地球の元素の種類と総量が不変ですから、物質が化学的に如何に変化しても、物質不滅の法則が成り立っていることとなります。このように考えてくると、元素の種類と総量においても地球は外界から遮断され独立した一つの世界と考えることができます。

物質の持つ化学エネルギー

前に考えたように地球ではエネルギーも物質も形態は変化しても総量に変化のない外界から独立し、遮断された世界であることが判りました。物理学の基礎となる熱力学の3法則によりますと、外界から独立し遮断された閉鎖系では、エネルギーも物質も形態は変化してもその総量は不変であり、エネルギー不滅の法則、物質不滅の法則と呼ばれています。また、エネルギーを発散しながら物質の拡散する方向に変化が起こり、逆に集合させるためにはエネルギーを必要とすることが、エントロピーの増大するように変化が起こるといふ熱力学の法則として認められています。

多くの小学生が学ぶ小学校の昼休みを考えてみてください。先生が何もしなくても給食が終わると、生徒は元気に運動場に飛び出してゆき遊び始めます。昼休みが終わると先生は始業のチャイムを鳴らして生徒を教室に呼び集めます。そして大きな声を張り上げて勉強が出来るように席に着かせます。それでもだめならば、先生は生徒の注意を引くような話や行動をとるでしょう。このようにして、生徒を教室という秩序の中に纏めて行きます。先生はチャイムを鳴らしたり、声を張り上げたり、注意を引くような行動をとりましたが、この時先生はかなりのエネルギーを使わなければなりません。物質は分子がある秩序を持って集合して形作られますが、このように秩序を持って集合するときには、分子は小学生と同じように集合のためのエネルギーを必要とします。逆に、物質も小学生も放って置けば少しづつエネルギーを放出して次

表 2 - 2 共有結合半径

H	Be	B	C	N	O	F
0.33	1.07	0.89	0.77	0.70	0.66	0.64
	Mg	Al	Si	P	S	Cl
	1.40	1.26	1.17	1.10	1.04	0.99
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br
1.35	1.31	1.26	1.22	1.18	1.14	1.11
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I
1.53	1.48	1.44	1.40	1.36	1.32	1.28
Au	Hg	Tl	Pb	Bi		
1.50	1.48	1.47	1.46	1.46		

第に分子や小学生の秩序を乱して散り散りばらばらに拡散してゆきます。このように物質や元素を集合させるために必要であり、拡散する際に放出されるエネルギーをエントロピーと呼ん

でいます。

いろいろな元素が互いに引き付けあって結合するときには、結合することにより安定化するために、結合エネルギーと呼ばれるエネルギーを放出して分子を形作ります。この時、原子間の距離は表 2 - 2 に挙げたそれぞれの共有結合半径の和になるときにもっとも大きな結合エネルギーを放出します。また、結合の方向は元素により大きく異なります。炭素やけい素のように原子価が 4 価の元素ではその結合の方向はお互いに 109.5 度の角度を持つときに最も安定しています。しかし、多くの元素で構成される分子においては、全ての元素を結ぶ結合の原子間距離と結合角を最適に保つことは出来ませんから、当然そこには歪みが生じてきます。そこで、放出するすべての結合エネルギーと歪みのエネルギーの総和をエンタルピーと呼んで、元素が集合して分子を形作ったときに放出する総エネルギーと考えています。放出するエネルギーが大きいほどこのエンタルピーの値が負に大きくなり、安定な分子と考えることが出来ます。反対に、エントロピーが正の方向に大きいほど、その分子は化学エネルギーを貯えていると考えることが出来ます。

このエンタルピーとエントロピーの 2 種類のエネルギーを足し合わせたものは自由エネルギーといい、その物質のもつ化学エネルギーの総計と考えてよいでしょう。これらの 3 種のエネルギーには式 2 - 1 のような関係が成り立っていますから、エントロピーは温度の影響を受ける性質があり、温度が下がると次第に 0 に近づきます。

$$G = H - TS \quad \text{式 2 - 1}$$

冬の寒い日に小学生があまり運動場に出て行かないようになる事も何となく肯ける気がします。ただし、G は自由エネルギー、H はエンタルピー、S はエントロピー、T は絶対温度を意味しています。太陽からの光エネルギーは熱エネルギーや運動エネルギーなどに色々変換されますが、エネルギーの一部は化学変化を引き起こし、化学エネルギーの形で物質に蓄えられます。また、この蓄えられた化学エネルギーは化学変化をすることにより放出され他の形のエネルギーに変換されます。

還元性物質が蓄える化学エネルギー

太陽からの光エネルギーは熱エネルギーや運動エネルギーなどに色々変換されますが、エネルギーの一部は化学変化を引き起こし、化学エネルギーの形で物質に蓄えられます。また、この蓄えられた化学エネルギーは化学変化をすることにより放出され他の形のエネルギーに変換されます。その物質に蓄えられた化学エネルギーは、エンタルピーとエントロピーの 2 種類のエネルギーを足し合わせたものと考えられますが、エントロピーよりもエンタルピーのほうが一般に大きな値を示します。ここでエンタルピーは物質を構成する分子の結合エネルギーと歪みエネルギーに由来するものですから、化学エネルギーの主体は結合エネルギーの変化と考えてよいでしょう。

たとえばメタンガスが燃えて水と二酸化炭素になるときは 4 本の C - H 結合と 2 本の O = O 結合が切れて、4 本の O - H 結合と 2 本の C = O 結合が出来ます。メタンガス、酸素、水、二酸化炭素の分子の何れもほとんど歪みエネルギーを含んでいませんから、結合エネルギーの

変化がエンタルピーの変化と考えられます。結合エネルギーはそれぞれ 1 モル当たり C - H 結合 : 99 kcal、O = O 結合 : 98 kcal、O - H 結合 : 111 kcal、C = O 結合 : 179 kcal ですから、この反応で放出されるエネルギーは式 2 - 2 より

$$\text{結合エネルギー変化} = (111 \times 4 + 179 \times 2 - 99 \times 4 - 98 \times 2) \text{ kcal/mol} = 210 \text{ kcal/mol}$$

式 2 - 2

と計算されます。この結合エネルギーの変化はメタンガスが蓄えている化学エネルギーと考えてよいでしょう。

多くの植物は太陽からの光エネルギーを吸収して、二酸化炭素と水を化学的に変化させてブドウ糖を生産しています。これは 6 分子の二酸化炭素と 6 分子の水から 1 分子のブドウ糖と 6 分子の酸素を生ずる変化ですから、12 本の C = O 結合と 12 本の O - H 結合から 5 本の C - C 結合、5 本の O - H 結合、7 本の C - O 結合、7 本の C - H 結合、6 本の O = O 結合への変化と考えられます。この化学変化では多少の歪みエネルギーが加わりますから、植物は 180g のブドウ糖を生産することにより太陽の光エネルギーから 673 kcal の化学エネルギーを蓄えています。

一般に化学エネルギーを蓄える物質は、メタンガスやブドウ糖のように比較的の高い還元状態にあり、酸化されることによりその化学エネルギーを放出します。特に、この酸化反応が短時間に進行し、全ての化学エネルギーが放出されると非常に高温になりますから、この反応を燃焼と呼び、このときに放出する化学エネルギーを燃焼熱と呼んでいます。蓄えられる化学エネルギーの大きさを比較するために表 2 - 3 には種々の有機化合物の燃焼熱をまとめておきます。

物理的に形状が変化する機械的風化

地表を構成する物質が日射、空気、水、生物などの作用によって次第に破壊され、分解されることを風化といい、物理的に形状が変化する機械的風化と化学組成が変化する化学的風化があります。ある秩序を持って形を成している物質が破壊され、形状が変化してゆく機械的風化では分子間に働くエンタルピーと秩序の変化によるエントロピーの両方が変化します。一般に、分子が規則正しく配列している物質が破壊される際には、その分子の間に働く分子間力が切断されるためエンタルピー的にはエネルギーを吸収し、秩序が拡散する方向に変化するためにエントロピー的にはエネルギーを放出します。岩石や氷山のように比較的規則正しい配列をした物質の破壊の場合には、エンタルピーの変化がエントロピーの変化に優るため、外からの熱エネルギーや運動エネルギーの供給を受けて起こる吸熱反応となります。

表 2 - 3 種々の有機化合物の燃焼熱(kcal/mol)

物質名	分子式	燃焼熱	物質名	分子式	燃焼熱
ホルムアルデヒド	CH ₂ O	134.1	アラニン	C ₃ H ₇ NO ₂	387.7
蟻酸	CH ₂ O ₂	62.8	ウレタン	C ₃ H ₇ NO ₃	397.2
メタン	CH ₄	210.8	プロパン	C ₃ H ₈	526.3
尿素	CH ₄ N ₂ O	151.6	グリセリン	C ₃ H ₈ O ₃	397.0
メタノール	CH ₄ O	170.9	酢酸エチル	C ₄ H ₈ O ₂	536.9
メチルアミン	CH ₅ N	256.1	ベンゼン	C ₆ H ₆	782.3
アセチレン	C ₂ H ₂	312.0	フェノール	C ₆ H ₆ O	732.2
シュウ酸	C ₂ H ₂ O ₄	60.2	アニリン	C ₆ H ₇ N	811.7
エチレン	C ₂ H ₄	331.6	ヘキサン	C ₆ H ₁₄	989.8
アセトアルデヒド	C ₂ H ₄ O	279.0	シクロヘキサジエン	C ₆ H ₈	847.8
酢酸	C ₂ H ₄ O ₂	209.4	シクロヘキセン	C ₆ H ₁₀	891.9
アセトアミド	C ₂ H ₅ NO	282.6	シクロヘキサン	C ₆ H ₁₂	937.8
グリシン	C ₂ H ₅ NO ₂	234.5	ブドウ糖	C ₆ H ₁₂ O ₆	673.0
エタン	C ₂ H ₆	368.4	ベンズアルデヒド	C ₇ H ₆ O	841.3
エタノール	C ₂ H ₆ O	327.6	安息香酸	C ₇ H ₆ O ₂	771.2
ジメチルアミン	C ₂ H ₇ N	416.7	ベンジルアルコール	C ₇ H ₈ O	894.3
エチルアミン	C ₂ H ₇ N	408.5	安息香酸メチル	C ₈ H ₈ O ₂	943.5
アセトン	C ₃ H ₆ O	426.8	オクタン	C ₈ H ₁₈	1302.7
蟻酸エチル	C ₃ H ₆ O ₂	391.7	ステアリン酸	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	2711.8

氷は水の分子が規則正しく配列して固化した状態です。このように分子が配列するためにはエントロピー的には大きなエネルギーを必要としますが、分子が近くに存在するために水素結合などの分子間力も大きくなり、エンタルピー的にはかなりのエネルギーの放出となります。実際、水から放出されるエネルギーを奪って冷却しなければ、水は結氷しません。逆に、氷が0で融けて液状の水になるときはエンタルピー的なエネルギーの吸収が支配的になり、1g当たり80 calの融解熱を必要とします。山に積もった雪や北極の氷山も同じ氷で出来ていますから、機械的に風化するためには多量の熱エネルギーを必要になります。

岩石は種類により成分も分子の配列も異なりますから、雪や氷山のように簡単な系として考えることは出来ませんが、一般的には機械的に風化するときエンタルピーの変化がエントロピーの変化に優るため、エネルギーの供給を必要とします。氷の体積膨張による運動エネルギーで岩石を破碎することが知られています。また、海の波や川の流れることによって岩石を削ってゆくことが知られています。水の流れや風に乗って移動する岩や砂同士の衝突により破碎することも知られています。このように各種の運動エネルギーの供給により、岩石は次第に砂に細粒化し、機械的な風化が進行してゆきます。逆に、砂や泥土が全く移動することなく堆積してい

ると、長い年月の間にはわずかつつエネルギーを放出して、新しい秩序を作り上げてゆきます。砂の間に秩序が生まれれば砂岩に固化し、火山灰は凝灰岩に成長します。

化学組成が変化する化学的風化

物理的に形状が変化する機械的風化は組織や秩序の破壊に由来するエントロピー変化と分子間力に由来するエンタルピー変化を伴っていますが、何れのエネルギー変化も比較的小さいと考えられます。これに対して、化学組成が変化する化学的風化は機械的風化に結合エネルギーに由来するエンタルピー変化が加わります。機械的風化に影響を持つエントロピー変化と分子間力に由来するエンタルピー変化に比較して、結合エネルギーに由来するエンタルピー変化は非常に大きなものと思われます。たとえば、水の分子間力として働いている水素結合のエネルギーは約 6 kcal/mol、水の O - H 結合エネルギーは 111 kcal/mol と見積もられています。このように、分子間力に比較して原子間の結合エネルギーが非常に大きいため、化学エネルギーを放出する化学反応を含む化学的風化のみが進行します。

植物が太陽の光エネルギーを吸収して生産するブドウ糖が酸化されて放出される化学エネルギーは、蛋白質や脂肪、セルロースなどのあらゆる生物を構成する物質を生産するエネルギーとして使われます。また、ブドウ糖は重合して植物を形作るセルロースに変化しますから、セルロースもブドウ糖と同じように多くの化学エネルギーを蓄えています。植物が枯死して残された落ち葉や枯れ木も当然多くのセルロースを含んでいます。これらの落ち葉や枯れ木には茸が生えたり、白蟻が巣を作ったりして次第に朽ちて風化が進んで行きます。このときセルロースは昆虫や微生物の栄養源として水と二酸化炭素まで酸化され、放出される化学エネルギーは昆虫や微生物の命の活力となります。セルロースなどは物質が燃焼して化学エネルギーを放出し、水と二酸化炭素に分解してゆきますから、焚き火や山火事で落ち葉や枯れ木が燃えるときも化学的風化と考えることができます。

寒冷地のように生物にとって厳しい生活環境では、落ち葉や枯れ木の化学的風化は中間の単体炭素の段階までしか進行せず、二酸化炭素までの酸化が完結しません。また、砂漠のように湿度が低く高い気温の環境では、生物が棲息し難く、乾燥と脱水が進行して炭化してゆきます。地球上に棲息する生物は単体の炭素をほとんど栄養源とすることが出来ませんから、このように炭化した植物は風化し難いため累積してゆきます。このとき化学エネルギーを蓄えたままで化学的風化が終結してしまいます。スコットランドの泥炭のように余り炭化の進行していない初期の段階の石炭や、単体炭素の含有率が極めて高い粘結炭など種々の石炭が地球上に化学エネルギーを蓄えています。

上に挙げた例でも判るように化学組成が変化する化学的風化は結合エネルギーに由来するエンタルピー変化によるため、化学エネルギーを蓄えた物質から自然界で次第に安定な物質に変化するものと見る事が出来ます。

地球は物質のシーソーの上

地球全体は太陽から毎秒 1.0×10^{13} kcal の光エネルギーを大気中および地表に吸収して、地球の持つ総エネルギー量を増加させていますが、地球が宇宙空間に比べればかなり高温を保っていますから、地球自体も大量の熱エネルギーを輻射しております。また、太陽の引力の下で

太陽の周囲を公転し、地球は 24 時間で自転し、さらに月が地球の周囲を公転しています。これらの地球や月の運動も次第に遅くなっていますから、その運動の変化は潮汐運動などの運動エネルギーに変換されて地球の持つ総エネルギー量を増加させています。地球の誕生から 45 億年の間に地球は徐々に冷えて、熱輻射して消費するエネルギー量が次第に減少してきましたので、地球の持っていた運動エネルギーの変化と太陽から供給される光エネルギーの総量に拮抗するようになりました。、現在では地球の全エネルギーの収支は完全に釣り合っており、地球はエネルギー的には外界から遮断され独立した一つの世界と考えることができます。さらに、光エネルギー、運動エネルギー、熱エネルギー、化学エネルギーなどの種類別のエネルギーの割合も完全に釣り合っていますから、地球はエネルギー的にシーソーの上に乗っていると考えることができます。

太陽の中で起こっている核融合反応の折に副生する中性子や原子やイオンも宇宙線となって太陽から放射され、地球上にも到達しています。また、隕石などの形で地球の引力圏内に吸収されてしまう小さな天体も原子やイオンからなっています。このような元素の増加とは反対に、地球の引力が小さいために分子運動の速度が大きな分子を引き付けておくことができず、45 億年の間に水素やヘリウムはほとんど散逸してしまいました。現在、地球に存在する分子はもはや全く散逸しませんから、地球を構成する 6.0×10^{24} kg の質量の元素と比較すると、元素の増減は無視できるほど微量です。言い換えれば、地球の元素の種類と総量が不変ですから、元素を基礎に考えても地球は外界から遮断され独立した一つの世界と考えることができます。

元素の種類と総量が不変でも、その元素の結合の仕方は色々と変化しますから、これに伴い化学エネルギーも変化します。植物が太陽の光エネルギーを吸収して生産するブドウ糖やセルロースなどは多くの化学エネルギーを蓄えています。植物が枯死して残された落ち葉や枯れ木には茸が生えたり、白蟻が巣を作ったりして次第に朽ちて風化が進んでいきます。このとき枯死した植物は昆虫や微生物の栄養源として水と二酸化炭素まで酸化され、放出される化学エネルギーは昆虫や微生物の命の活力となります。また、焚き火や山火事で燃えるときも物質の変化とともに化学エネルギーを放出します。このような物質のサイクルのほかに、寒冷地や砂漠のように生物にとって厳しい生活環境では、落ち葉や枯れ木の化学的風化は中間の単体炭素の段階までしか進行せず、二酸化炭素までの酸化が完結しません。このとき一部の化学エネルギーを蓄えたままで化学的風化が終結してしまいます。このように蓄えられる化学エネルギーの量も 45 億年の間に一定量に落ち着いてきました。

元素の種類と総量が不変でも、結合様式や組織や秩序の異なる物質の割合が変化すれば、当然、化学エネルギーの総量も変化します。エネルギーが完全に釣り合っている地球では、運動エネルギー、熱エネルギー、化学エネルギーなどの種類別のエネルギーの割合も完全に釣り合っていますから、結合様式の異なる種々の物質も一定の割合で平衡に達し、地球は物質的にもシーソーの上に乗っていると考えることができます。

人類の贅沢によりどのような物質が浪費され、どのような物質が無為に生産されているか化学的に検証するために、地球の本来の姿を考えてきましたが、その結果、種々の形のエネルギーと種々の物質が一定の割合で現在の生き生きとした地球を構成しており、地球の全てのこと

がシーソーの上に乗って平衡を保っていると結論されます。