

3. 太陽に照らされて「地球は青かった」

波長の長さで変わる光エネルギーの大きさ

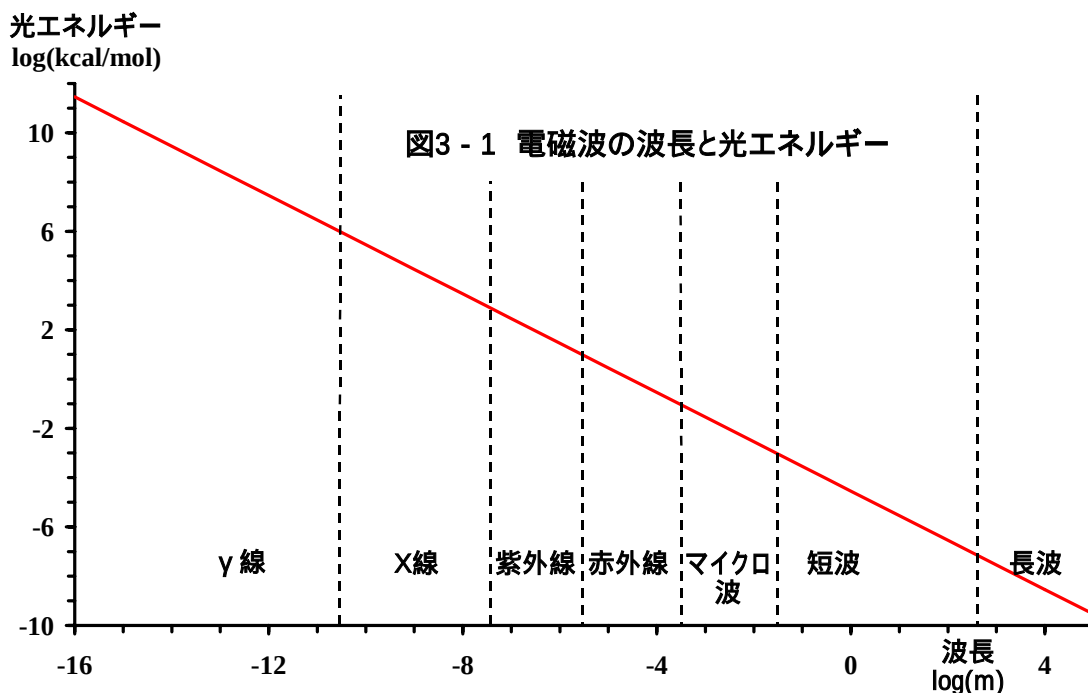
光のエネルギーに対して Newton は式 3 - 1 に示す粒子の運動による運動エネルギーの関係式を適用して説明を試みましたが、後に明らかになったのですが光の粒子が質量を持たず式 3 - 1 で $m = 0$ になるために Newton 力学では表現することができませんでした。Einstein はフォトン（光子）と呼ばれる粒子が波の運動をしながらエネルギーを伝播してゆくと仮定し、Plank の定数 h を比例定数としそのフォトン 1 個の持つエネルギーが式 3 - 2 のように電磁波の振動数 ν に対して比例することを導きました。電磁波の振動数は波長に反比例しますから、真空中の光の速さと波長をそれぞれ c および λ としますと式 3 - 2 が書き換えられ、電磁波の持つエネルギーが波長の短いほど大きいことも導かれます。

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{式 3 - 1}$$

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{式 3 - 2}$$

同じ波長の光が同じ光のエネルギーを持っているにもかかわらず、冬の太陽の光は弱々しく、夏の太陽の光はガラガラと強く輝いています。このことは電磁波が単なる波では完全には説明できず、同じエネルギーを持つフォトンの量あるいは密度により電磁波の強さが変化するものと考えられます。実際、振動数の大きな電磁波を物質に当てると電子やイオンをはじき出す光電効果という現象が起こりますが、このときはじき出される電子やイオンの量は振動数には無関係で電磁波の強さに比例します。このことからフォトンとは波の運動をしながら走る重量を持たない粒子であると考えられ、そのフォトンは振動数に比例する一定のエネルギーを持っています。その光が持つ総エネルギー量はそのフォトンの数に比例しています。冬の弱々しい太陽の光は一定時間の内に到達するフォトンの数が少なく、夏のガラガラと強く輝く太陽の光には多くのフォトンが含まれています。

Einstein の考えによれば、電磁波は磁場と電場が相互に影響しあいながら規則的に変化し、伝播してゆく波の性質を持っています。水面にたつ波は水を媒体に、また音の波は空気を媒体にしてエネルギーを伝播しますが、電場や磁場の変化は媒体に無関係ですから、真空中でも電磁波はエネルギーを伝播してゆきます。また、電磁波の磁場の振動面と電場の振動面は電磁誘導により直交し、周期は同期されています。Maxwell はこのような磁場と電場の立体的な関係を 3 次元的に数式化して、電磁波の持つ種々の性質を論理的に合理化しました。これにより、電磁波が通過する物質の誘電率を ϵ 、誘磁率を μ とするときに、電磁波の伝播する速さ c は定数の 299792458m/s となり 1 秒間に地球の周りを約 7 周半走ると概算されます。



紫色と赤色のそれぞれ 400nm ($4.0 \times 10^{-7}\text{m}$) と 700nm ($7.0 \times 10^{-7}\text{m}$) の光の波長を式 3 - 2 に代入してみますと、光子 1 個の持つ光エネルギーはそれぞれ 11.86×10^{-23} kcal および 6.78×10^{-23} kcal と計算できます。光子と同じように分子も非常に小さな粒子ですから、物理学や化学の分野ではモルという単位で物質の重さや性質と分子の関係を表しています。Avogadro が明らかにしたように 1 モルに含まれる粒子の数は 6.022×10^{23} 個ですから、1 モルの光子が持つ紫色と赤色の光のエネルギーはそれぞれ 71.44 kcal と 40.82 kcal と計算されます。さらに、真空中の電磁波の波長に対する電磁波の 1 モルの光子が持つエネルギーの変化を図 3 - 1 に示しておきます。このように電磁波の波長によりその光子が持つエネルギーが大きく異なりますから、種々の電磁波がその波長により 9 種の電磁波に実用的に大別されています。

それらの関係は表 3 - 1 にまとめたように、最も波長の短くエネルギーの高い γ 線は放射性物質から発せられる放射能と考えられている電磁波ですし、 $0.1 \sim 10\text{nm}$ ($10^{-10} \sim 10^{-8}\text{m}$) の波長を持つ電磁波は X 線と呼ばれています。一般に、 $100\text{nm} \sim 100\mu\text{m}$ ($10^{-7} \sim 10^{-4}\text{m}$) の波長の電磁波を光と呼んでいますが、人間が目で感じることのできる光は特に可視光線と呼ばれ、 $400 \sim 800\text{nm}$ ($4 \times 10^{-7} \sim 8 \times 10^{-7}\text{m}$) の波長領域に限られています。また、可視光線よりも波長の短い光を紫外線、波長の長い光を赤外線と呼んでいます。光よりもさらに波長の長い電磁波は電波と呼ばれていますが、それらの電波には電磁波の性質によりマイクロ波と極超短波と短波と長波に分類されています。 γ 線や X 線や紫外線などの波長の短い電磁波は非常に高いエネルギーを持っていますし、赤外線や各種の電波は小さなエネルギーしか持って居ないことが分かります。ちなみに、水の分子を構成している酸素

- 水素結合の結合エネルギーは 119kcal/mol と見積もられていますから、紫外線から可視光線の光エネルギーに相当しています。このように可視光線の波長変化に伴う色の変化した帯をスペクトルと本来呼んでいましたが、科学の進歩に伴い紫外線や赤外線領域とも実質的に連続して電磁波の性質の徐々に変化して行くことが明らかになってきましたから、近年では広い波長領域での変化もスペクトルに含めるようになっていきます。このように波長領域により電磁波の持つエネルギーが異なりますから、電磁波を照射したときに起こる水に対する影響や挙動はこれらの γ 線と X 線と光と電波により非常に異なっているように思われます。

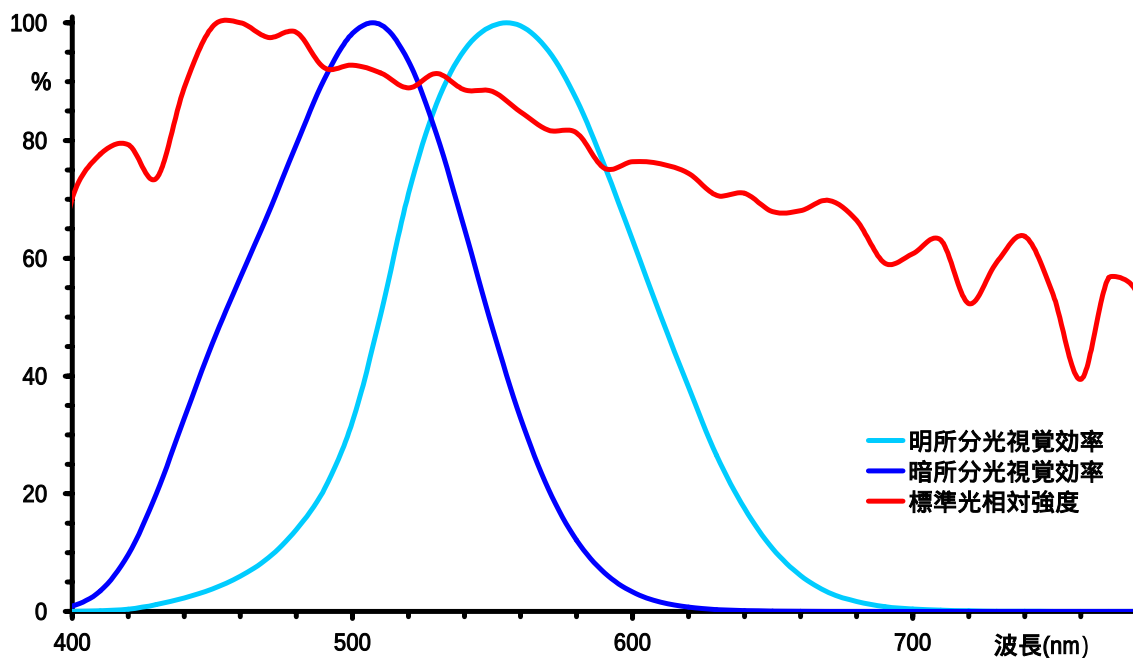
表 3 - 1 電磁波の波長とエネルギーと物質に対する現象

波長 (λ)		振動数 (ν)	電磁波の種類	光エネルギー	物質に対する物理現象
(m)		(Hz)		(kcal/mol)	
10^{-16}		3×10^{24}	γ 線	2.86×10^{11}	原子核の変化
10^{-15}		3×10^{23}		2.86×10^{10}	
10^{-14}		3×10^{22}		2.86×10^9	
10^{-13}		3×10^{21}		2.86×10^8	
10^{-12}	1pm	3×10^{20}		2.86×10^7	
10^{-11}		3×10^{19}		2.86×10^6	
10^{-10}	1A	3×10^{18}	X 線	2.86×10^5	電子の励起
10^{-9}	1nm	3×10^{17}		2.86×10^4	
10^{-8}		3×10^{16}		2.86×10^3	
10^{-7}		3×10^{15}	紫外線	2.86×10^2	共有結合の励起
10^{-6}	1 μ m	3×10^{14}	可視光線	2.86×10	
10^{-5}		3×10^{13}	赤外線	2.86	共有結合の運動
10^{-4}		3×10^{12}		2.86×10^{-1}	
10^{-3}	1mm	3×10^{11}	マイクロ波	2.86×10^{-2}	分子の運動
10^{-2}	1cm	3×10^{10}		2.86×10^{-3}	
10^{-1}		3×10^9	極超短波	2.86×10^{-4}	
1	1m	3×10^8		2.86×10^{-5}	
10		3×10^7	短波	2.86×10^{-6}	
10^2		3×10^6		2.86×10^{-7}	
10^3	1km	3×10^5	長波	2.86×10^{-8}	
10^4		3×10^4		2.86×10^{-9}	
10^5		3×10^3		2.86×10^{-10}	

紺碧に見える深水の水も掬えば無色透明

表面温度が 6000 の高温で輝く太陽は極めて短波長の γ 線から長波長の電波まで連続的な非常に幅広い波長領域の電磁波を輻射しています。しかし、太陽は水素やヘリウムの原子で被われていますし、酸素や窒素を主成分とする大気で地球の周囲も被われていますので、太陽の表面で輻射した電磁波の大部分は吸収されてしまい、300nm 以上の比較的波長の長い紫外線と可視光線と赤外線だけが地表に到達しています。しかも、昼日中と日の出や日の入りの前後では太陽光が大気を通過する距離はが変化しますから、地表に到達する太陽光のスペクトルも時々刻々変化します。また、白い砂浜では太陽光はそのまま反射しますが、草原や森の中では緑色の光を強く反射します。そのため周囲の環境や天候や時刻により、地表に届く太陽光のスペクトルは大きく変化し簡単には数値化することができませんので、太陽光の平均的なスペクトルを基に JIS(日本工業規格)では照明器具やインクや染料などの産業のために標準の昼光の波長に対する相対強度を標準光として規定しています。そのスペクトルを図 3 - 2 に赤線で示しておきますが、460nm で最も高い強度を持ち波長が長くなるに連れて強度が小さくなっています。このスペクトルから太陽光は相対的に紫色から青色の比較的短波長の可視光線に偏っていると思われます。

図3 - 2 標準光相対強度と分光視覚効率



太陽光の降り注ぐ世界に棲息する生物は物事を知覚するために、比較的波長の長い紫外線と可視光線と赤外線を効率よく吸収する機構を持っています。脊椎動物は眼を使って周囲を認識していますが、棲息する環境がそれぞれ異なりますから、それぞれ動物の目の能力は光の波長や強度により異なります。例えば鶏は紫色と青色と緑色と赤色の光に感度の

高い 4 種の物質を用いて 380 ~ 700nm の波長領域の光を感知して周囲を認識しています。人間の眼は角膜と水晶体と硝子体で構成される光学系により光学像を網膜上に結び、網膜上で起こる感光物質の変化を視神経が知覚し、その情報を視覚中枢で整理する機構を持っています。網膜部分には青色と緑色と赤色の光に高い感度を持つ 3 種の感光物質が分布しており、400 ~ 700nm の波長領域の光を認識しています。しかし、これら 3 種の物質の感知する領域が互いに重複しますから、光の明るさにより各波長の感度は異なってきます。強い光と弱い光に対する眼の感度をそれぞれ明所分光視覚効率（水色線）と暗所分光視覚効率（青色線）の値として図 3 - 2 に示しておきますが、弱い光では短波長の光に対する感度が高くなっています。このように網膜で感じる光の感度は波長により一定では有りませんから、網膜に到達した光の強さに比例するように視覚中枢で網膜の感度を補正しています。

太陽の光は波長により一様な強度を持っているわけではなく、波長が長くなるに連れて強度が小さくなっています。地上に進化育成してきた人間は網膜で感じる光の感度を補正してそのような太陽の光を白色（無色）に感じるように視覚中枢で認識しています。言い換えれば、虹の 7 色の光が図 3 - 2 の赤線で示すスペクトルの強度比で同時に眼に入ると、人間はそれぞれの光の色を打ち消すように白色（無色）の光として認識します。標準光のスペクトルの強度比を持たない光は白色（無色）の光には見え、ある波長領域の光の強度比が大きい時にはその領域の波長の色を感じます。反対にある波長領域の光の強度が小さい時にはその領域外の波長の色を感じます。

人間の眼は網膜部分に分布している青色と緑色と赤色の光に高い感度を持つ 3 種の感光物質により 400 ~ 700nm の波長領域の光を認識していますから、Munsell は光の色の要素が青色と緑色と赤色の 3 色と考えて、全ての色を 3 色の要素の組み合わせとして図 3 - 3 に示すマンセルの色相環に並べました。青色と黄色のように、この色相環では反対側に位置する色を補色と呼んで、互いの色は 3 色の要素が補完する関係にあることを示しています。標準光のスペクトルの強度比に比較して、ある波長領域の光の強度が小さい時にはその領域外の波長の色を感じますが、その色は強度の小さな波長領域の光の補色に相当します。



図3-3 マンセルの色相環

標準光のスペクトルの強度比と比較して、夜の歓楽街ではネオンサインなどにより赤い色の光の強度比が大きくなっています。当然、そのような場所では全ての物が赤く見えますから、歓楽街に働く女性の顔色も赤みを帯びて若々しく美しく見えます。また、黄色の

サングラスはその補色に相当する青色の波長の光を太陽光から吸収してしまいますから、当然、サングラスを透して見える景色は黄色く見えます。しかし、暫くサングラスを掛け続けていますと、網膜で感じる光の感度を視覚中枢で補正してしまい、黄色く見えていた景色は昼光色の景色に戻ってしまいます。このように人間の眼は相対的には極めて高い精度と感度を持って感知するようにできていますが、知覚した情報を常に視覚中枢で補正していますから、眼に入っているも見えなかったり、色の付いた物も無色に見えるような不思議が起こります。

水は酸素原子と水素原子が共有結合により強く結ばれており、さらに水分子同士が弱い配位結合などを含む水素結合により複雑に絡まった構造をしていますから、139nm に酸素 - 水素単結合に由来する短波長の紫外線の吸収が観測されますが、同時に 1940、1450、1190、970、760nm に極大を示す配位結合に由来する長波長の光を吸収します。表 3 - 2 に掲げたこれらの極大吸収の吸光係数から、長波長領域の吸収は極めて弱いことが分かります。光の吸収は光が透過する距離に比例しますから、吸光係数は 1mol/L の溶液を 1cm の距離だけ通過してくるときに透過してくる光の強さの割合で表しています。水の 760nm の極大吸収における吸光係数が 0.0005 L/mol・cm ですから、光が少なくとも 50cm 以上の距離を透過しなければこの波長の光の吸収を眼で認めることが出来ないと計算されます。そのために少量の水では無色透明に見えますが、大量の水を透過する間には水が波長の長い 760nm 近傍の赤色の光を吸収して、その補色に相当する青色に見えます。

表 3 - 2 水の極大吸収

波長(nm)	吸光係数
139	1698
760	0.0005
970	0.0083
1190	0.019
1450	0.47
1940	2.0

太陽光が水中で反射してくる時には、水の中を長距離にわたり光が透過しますから、赤色の光を吸収してしまい、海も湖も青く見えます。透明度が高く水深の深い摩周湖の水が紺碧に見えたことは今でも忘れられません。また、大気は大量の水蒸気を含んでいますから、当然わずかながら赤色の光を吸収してしまい、日本晴れの空は抜けるような青色になります。1961 年に宇宙飛行士 Гагарин (ガガーリン) がはじめて大気圏外に出て太陽に照らされた地球を見て「地球は青かった」と感じたのも海や空気中の水が赤色の光を吸収しているためです。

赤外線で調べる宇宙の水の存在

原子核と電子の間に働く引力と原子核同士の間には働く斥力が打ち消しあいますから、図 2 - 2 の赤色の線で示すように結合距離において最もエネルギー的に安定になり、結合距離よりも 2 つの原子が近付いても遠ざかってもエネルギー的に不安定になります。そのため、結合が伸びたり縮んだりする伸縮運動をするためにはエネルギーを必要とします。この原子を結び付ける結合は重い球をバネで繋いでいるようなものですから、結合の伸縮運動は

バネの運動を表す Hooke の法則で近似することができます。結合を長く伸ばそうとすれば大きなエネルギーを必要としますし、小さなエネルギーではほんのわずかしかな結合は伸びません。また、2 つの原子を結び付けている結合エネルギーは Hooke の法則のバネ定数に相当しますから、2 つの原子が強く結ばれている結合エネルギーの大きな結合においては、この結合の伸縮に要するエネルギーは当然大きくなりますし、結合エネルギーの小さな弱い結合においては小さなエネルギーで伸縮することが出来ます。さらに、同じような質量を持つ原子同士が結ばれた結合では比較的小さなエネルギーで伸縮振動をしますが、質量が大きく異なる原子間の結合の伸縮運動には大きなエネルギーを要します。

同じような質量を持つ炭素 - 炭素結合や酸素 - 炭素結合の伸縮運動には $3 \sim 5 \text{ kcal/mol}$ のエネルギーを要しますが、炭素 - 水素結合や酸素 - 水素結合は約 10 kcal/mol のエネルギーにより伸縮振動を起こします。表 3 - 1 から明らかなように、この程度のエネルギーが赤外線の持つ光エネルギーに相当しますから、結合は赤外線の光を吸収して伸縮運動し、分子の中で原子が動きます。結果として赤外線の光で物質を照らしますと、物質を構成する分子の結合が伸縮運動しますから、赤外線の光エネルギーは熱に変換されて物質を暖めます。しかし、結合を形成する原子は極めて高速で運動していますから、原子間の伸縮運動も量子力学で考えなければなりません。そのため、吸収する電磁波は連続的なスペクトルを持つ赤外線ではなく、結合の種類により特定の波長の赤外線を吸収します。

例えば、水素結合などの影響を受けない酸素 - 水素結合は $2.75 \mu\text{m}$ ($2.75 \times 10^{-6} \text{ m}$) の赤外線の光エネルギーを吸収するときに伸縮運動が引き起こされますが、水素結合により他の分子と絡み合っている酸素 - 水素結合では結合エネルギーが若干弱くなっていますから、若干長波長の赤外線を吸収します。水やアルコール類は隣の分子との 2 分子間の水素結合の場合もありますが、多くの分子との間の複雑な水素結合も含まれますから、酸素 - 水素結合は $2.75 \sim 3.15 \mu\text{m}$ の幅広い波長領域の赤外線を吸収して伸縮運動します。また、ケトンやアルデヒドやカルボン酸やエステルはいずれも酸素 = 炭素 2 重結合を持つ原子団ですが、隣接して結合している種々の原子の影響によりわずかながら結合エネルギーに差がありますから、それぞれ 5.84 、 5.78 、 5.84 、 $5.74 \mu\text{m}$ の波長領域の赤外線を吸収して酸素 = 炭素 2 重結合の伸縮運動を引き起こします。酸素 - 水素結合や酸素 = 炭素 2 重結合と同じように、種々の原子間の結合の伸縮運動により特定の赤外線の吸収波長が異なって観測されます。

第 2 章で考えたように、双極子モーメントの値からメタンや四塩化炭素は正四面体構造を、二酸化炭素は直線状の構造を取り、結合角がそれぞれ 109.5° 、 109.5° 、 180° と算出されますし、水は結合角 104.5° のくの字型に曲がった構造を持っていることが示されます。結合の伸縮運動のように、3 つの原子がなす角度も結合角において最もエネルギー的に安定になり、原子のなす角度が結合角より狭まったり、広がったりする変角運動においてもエネルギーを必要とします。原子を結び付ける結合は重い球をバネで繋いでいるようなものですから、結合の伸縮運動と同じように変角運動もバネを折り曲げる運動を表す Hooke

の法則で近似することができます。結合角から大きく変化させようとすれば大きなエネルギーを必要としますし、小さなエネルギーではほんのわずかしかな角度が変化しません。そ

表 3 - 3 種々の結合の赤外線特定吸収

結合名	原子団名	種類	波長 (μm)	波数 (cm^{-1})
C - H	アルカン	伸縮	3.38 ~ 3.51	2962 ~ 2853
		変角	6.74 ~ 7.30	1485 ~ 1370
	アルケン	伸縮	3.29 ~ 3.32	3040 ~ 3010
		変角	10.05 ~ 11.05	995 ~ 905
	ベンゼン	伸縮	3.30	3030
		変角	12.00 ~ 13.30	830 ~ 750
C=C	アルケン	伸縮	5.95 ~ 6.17	1680 ~ 1620
	ベンゼン	伸縮	6.25 ~ 6.33	1600 ~ 1580
C=O	ケトン	伸縮	5.80 ~ 5.87	1725 ~ 1705
	アルデヒド	伸縮	5.75 ~ 5.81	1740 ~ 1720
	エステル	伸縮	5.81 ~ 5.76	1750 ~ 1735
	カルボン酸	伸縮	5.80 ~ 5.88	1725 ~ 1700
	アミド	伸縮	5.95 ~ 6.14	1680 ~ 1630
N - H	アミン	伸縮	2.86 ~ 3.02	3500 ~ 3310
		変角	6.06 ~ 6.45	1650 ~ 1550
	アミド	伸縮	2.86 ~ 3.20	3500 ~ 3140
		変角	6.17 ~ 6.62	1620 ~ 1510
O - H	水	伸縮	2.94 ~ 3.13	3400 ~ 3200
		変角	7.40 ~ 7.90、950	1350 ~ 1260、1050
	アルコール	伸縮	2.94 ~ 3.13	3400 ~ 3200
		変角	7.40 ~ 7.90、950	1350 ~ 1260、1050
	フェノール	伸縮	2.94 ~ 3.13	3400 ~ 3200
		変角	7.10 ~ 7.60、8.3	1410 ~ 1310、1200
	カルボン酸	伸縮	3.70 ~ 4.00	2700 ~ 2500
C - F	フッ化物	伸縮	7.10 ~ 10.00	1400 ~ 1000
C - Cl	塩化物	伸縮	12.50 ~ 16.60	800 ~ 600
C - Br	臭化物	伸縮	16.60 ~ 20.00	600 ~ 500
C - I	ヨウ化物	伸縮	20.00	500

の他ベンゼン環などのような平面構造が多少平面から歪む変角運動などにもエネルギーが必要となります。このような種々の変角運動は比較的長波長の赤外線を吸収するときに引き起こされます。

このように種々の原子間の結合の伸縮運動や変角運動によりそれぞれ特定の波長の赤外線を吸収しますし、同じ種類の結合でも隣接する原子や原子団により吸収する赤外線の特定波長が微妙に異なります。表 3 - 3 には種々の結合を形成する原子や隣接する原子団の種類により吸収する赤外線の特定波長を掲げておきます。通常化学の研究では、これらの赤外線の特定吸収を波数で表す習慣がありますので、それらの数値も掲げておきます。この表の値を基に、観測される赤外線の吸収波長から物質の中に含まれる分子の結合の様子が推測できますし、その吸収強度から含まれる特定の結合の量を測定することもできます。この赤外線の吸収を用いる分析法は炭素原子を中心元素とする多くの物質の組成や状態を分析するために広く用いられていますが、さらに、水や二酸化炭素などの特定な物質の成分分析などにも用いられています。また、宇宙の彼方から地球に到達する赤外線を赤外線望遠鏡で観測することにより、水やアンモニアやメタンなどの他に一酸化炭素やシアン化水素など多くの星間物質の存在が確認されています。

水を元気に躍らせて「チ～ンしましょう」

一般的に、物質は種々の原子が共有結合で結ばれていますから、塩化水素の結合が電子の偏りを持っているように多くの物質を構成している結合には結合軸に沿った方向に多少の電荷の偏りを持っており、結合の双極子モーメントも方向性を持っています。しかし、多くの原子が集合した多原子分子中の原子の位置は 3 次元的な広がりを持っており、それぞれの結合も 3 次元的な方向を持っていますから、分子全体の双極子モーメントは各結合の双極子モーメントのベクトル和となります。当然、分子が自由に動き回ることのできる気体や液体の状態では、このような多原子分子が正負の電位差のある電場の中に存在するときには、その分子の結合の双極子モーメントをベクトル和した分子双極子モーメントにより分子が整列してゆきます。

電磁波は正の電位から負の電位まで電場の強さが周期的に変化する波の性質を持っていますから、その周波数に相当する速さで電場が交互に変化します。双極子モーメントを持つ分子に紫外線や可視光線やマイクロ波などの電磁波を照射しますと、電磁波により分子の周囲の電場が周期的に変化します。物質を構成している分子は電磁波による電場の変化の影響を受けて、分子内で電荷の偏っている部分に周期的に静電的な引力が働きます。分子の中の電子は 10^{-15} 秒程度、液体や気体の分子は 10^{-12} 秒程度の時間内で活発に運動しています。紫外線や可視光線は波長が短く電場の変化の周期が $10^{-15} \sim 10^{-14}$ 秒程度に短いために、分子運動が電場の変化に追従できませんから分子はあまり動くことが出来ません。しかし、分子が自由に動き回ることのできる気体や液体の状態のときには、波長の長い電磁波でその電場の変化に追従するように分子が回転して整列しますから、電磁波の周波数

にあわせて周期的に分子はその方向を逆転するように整列を繰り返します。1 秒間に $10^{10} \sim 10^{11}$ 回 ($10^{10} \sim 10^{11}$ Hz) の周波数を持つマイクロ波では電場の変化の周期が分子の整列するに要する時間に適しているために、マイクロ波の照射により分子は激しく整列の運動を繰り返します。分子が激しく運動すれば当然分子同士の摩擦や衝突が起こりますから、発熱をして物質の温度が上昇します。この現象はマイクロ波を吸収して熱エネルギーに変換するもので、電磁波のエネルギーの変換と考えることが出来ます。

分子双極子モーメントを持つ物質にマイクロ波を照射して加熱する方法は双極子モーメントの値が大きいくほど効率が良くなります。また、分子の密度が小さい気体の状態では摩擦や衝突が小さいためにあまり発熱しませんが、運動する分子の密度が高い液状の場合には分子間の摩擦や衝突が起こり易くなりますから発熱効率も上がります。牛乳や味噌汁やシチューなどはいずれも水溶液ですし、ご飯や肉や野菜などほとんどの食物には多くの液状の水が含まれています。この液状の水は表 2 - 8 でも明らかなように大きな分子双極子モーメントを持って分子の中で電荷が大きく偏っていますから、非常に効率よくマイクロ波の光エネルギーを吸収して熱エネルギーに変換することができ、この現象が電子レンジとして 1947 年に商品化されました。食物の中に含まれている水にマイクロ波を照射しますと、食物の中で液状の水の分子が激しく整列の運動を繰り返しますから、食物の内部から温度が上昇し高い発熱効率で温められてゆきます。このように水を加熱する現象は電子レンジに利用されて広く家庭に普及しています。初期の電子レンジが「チーン」という音で加熱の終了を知らせましたので、「チーンしましょう」という流行語の生まれたほどにこの便利な加熱器具は急速に普及しました。この電子レンジは非常に効率よく水を加熱することができますが、原理的に双極子モーメントの小さく固体状態のプラスチックや陶磁器を加熱することが出来ませんから、これらの器を用いて食物だけを非常に短時間に温めることが出来ます。