

## 5. 脂肪にまつわる何故を化学する

### 何故、油は水と仲が悪い？

第2章の「何故、水は溶ける物を選び好みます？」の節で納得したように、液状の水は図2-3に示すように沢山のくの字型に曲がった水分子が強い水素結合により3次元の網目状に絡まった構造をとって一塊として挙動します。水の3次元的な網目の中に溶質の分子が入り込むためには水素結合を切らねばなりませんから、水の水素結合によるエネルギーの安定化を犠牲にしなければなりません。水と水素結合を作らない溶質の分子は水の水素結合の網目の中に入り込んでも、その水素結合を切ってしまうだけで不安定になってしまいます。ベンゼンやその部分構造を持つものや、炭素=炭素2重結合や炭素≡炭素3重結合を持つ多くのものや、多重結合を持たない炭化水素などの一般に油と総称される物質は全く水素結合をすることが出来ませんし、イオンに解離することも極めて困難です。性格の相容れない仲の悪い人の間柄を**水と油の関係**と例えてきたように、油は水の中に入っても水素結合を切って不安定になってしまい、馴染むことが出来ず溶けることが出来ませんから、水の網目状の水素結合の切断が最小になるように水から遊離して、接触面積が最小になるような最も表面積の小さな塊となるかあるいは2層に分離してしまいます。

このような油を化学的に大別しますと3種類の物質が日常生活に深く関わっています。大豆油やごま油や菜種油などの植物油も牛脂や豚脂や鯨油や魚油などの動物油も種々の脂肪酸のグリセリンエステルで、人間の重要な栄養となる食用の油です。また、ミカンやレモンの皮に傷をつけると飛び出す黄色のレモンオイルや油絵の具を溶くのに用いられるテレピン油や人間の身体に関係の深いコレステロールなどの精油成分は炭素数の多い炭化水素やアルコール類です。さらに、中東やメキシコやアラスカや北海など世界各地の地中から採掘される石油とそれから製造されるガソリンや軽油や灯油や重油などの石油製品は炭素原子と水素原子で構成される種々の炭化水素の油です。

グリセリンは図5-1に示すように分子内に3つの水酸基(-OH)を持っており水と水素結合できますから、一塊にな

った水の中に入り込んでもエンタルピー的な損失がなく極めて水に良く溶けます。しかし、植物油や動物油などの脂肪は炭素数13個以上の長い炭化水素の鎖を持つ脂肪酸とグリセリンの水酸基(-OH)がエステル形で結合していますから、炭化水素の部分の割合が分子中で高くなり、その上

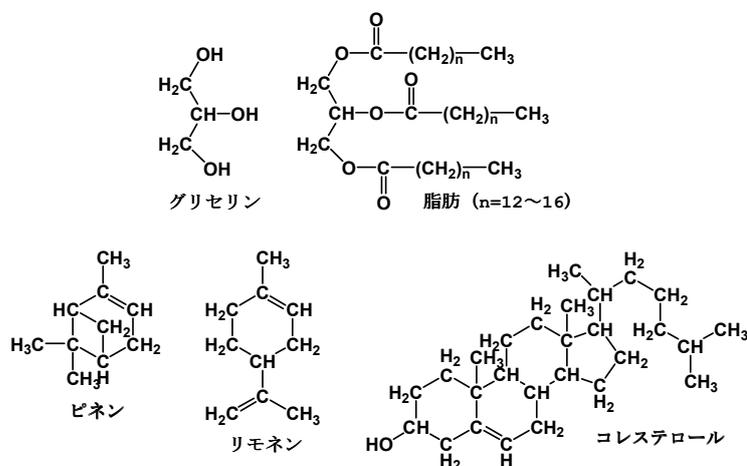


図5-1 日常生活と関係の深い油脂成分

に水との水素結合のできる水酸基がなくなります。レモンオイルには主にリモネンが、またテレピン油には主にピネンが含まれていますがいずれもモノテルペン類と呼ばれる 10 個の炭素原子を含む炭化水素物質です。さらに、コレステロールは炭素数 27 個の炭化水素部分に 1 個の水酸基が結合したアルコール類ですから、ほとんどアルコールの性質が現れません。石油製品はいずれも炭化水素ですから、ほとんど水と水素結合して安定化することができません。このように種々の油の性質を持つ物質に共通した特徴はその分子の中に多くの炭素-炭素結合と炭素-水素結合を含み、炭化水素が分子の大きな部分を占めています。

炭化水素が分子の大きな部分を占める油はそれぞれの原子上にほとんど電荷を持っていませんから、それらの分子全体もほとんど電荷の偏りを持っていません。当然、このような電荷の偏りのない分子は水分子の電荷を持った部分に引き付けられることも反発することもあります。水は分子の間に働く分子間力の他に約 6kcal/mol と見積もられている水素結合により、沢山のくの字型に曲がった水分子が互いに強く引き付け合い、3 次元の網目状に絡まった構造の一塊として挙動すると考えられます。分子が水素結合により引き付けあい一塊になっている水の中に、引き付けあうこともない余所者の分子が割り込もうとしても、エントロピーの増大による安定化はあるものの、水素結合を切らねばなりませんから水素結合によるエネルギーの安定化を犠牲にしなければなりません。水と水素結合を作らない溶質の分子は水の水素結合の網目の中に入り込んでも、その水素結合を切ってしまうだけで不安定になってしまいます。仲良しの仲間と一緒に遊べますが、仲良くない人とは遊ぶこともなく仲間はずれにします。水も電荷を持ったイオンや電荷の偏りを持ち水素結合しやすい分子とは仲良く溶け合いますが、電荷の偏りを持たない分子は仲間になることができませんから、水が小突き回すように疎外します。

結合上に電荷の偏りの少ない炭化水素などの分子は水素結合をすることが出来ませんし、イオンに解離することも極めて困難ですから、水の中に入っても水素結合を切っても不安定になってしまい、馴染むことが出来ず溶けることが出来ません。水の網目状の水素結合の切断が最小になるように水から遊離して、接触面積が最小になるような最も表面積の小さな塊の油滴になるかあるいは 2 層に分離してしまいます。このように水と相性の悪い性質を親油性、相性の良い性質を親水性と呼び、親水性の物質は水と相性が良いので水の中に溶け込んで均一な溶液になりますが、油と相性が悪く油の中では遊離してきます。逆に、油は電荷の偏りを持たない水素結合もしない分子とは仲良く溶け合いますが、電荷を持ったイオンや電荷の偏りを持ち水素結合しやすい分子は仲間になることができませんから、油が小突き回すように疎外します。水の網目状の水素結合の切断が最小になるように油から遊離して、接触面積が最小になるような最も表面積の小さな塊の水滴になるかあるいは 2 層に分離してしまいます。親油性の物質は油と相性が良いので油の中に溶け込んで均一な溶液になりますが、水と相性が悪く水の中では遊離してきます。例えば、油の多く入ったラーメンの汁は油が上に浮いて 2 層に分かれます。また、フレンチドレッシングソ

ースは塩と胡椒とお酢とサラダ油を混ぜただけのものですから、サラダに掛ける寸前に良く掻き混ぜなければ直ぐに2層に分離してしまいます。

水と油は分離して油滴になったり2層に分離しますが、水と油が混在する中に溶質を溶かしますと、水と油のいずれの溶媒に溶けるかは溶質の性質により異なります。酸素-水素結合、窒素-水素結合を持つために水と水素結合しやすい溶質やイオン結合性の溶質は水とよく馴染みますから、油に溶けるよりむしろ水に溶け易い性質を示します。反対に炭化水素が分子の大きな部分を占める溶質は電荷の偏りを持ちませんから、水の中に入り込んでも水の水素結合を切断するために馴染むことができず、水から小突き回されるように疎外され、油の中に逃げ込んできます。油の中ではエンタルピー的には弱い安定化しか起こりませんが、溶質の油の中への拡散によるエントロピー的安定化がありますから、油とは別段喧嘩することなく仲良くでき、水に溶けるよりむしろ油に溶け易い性質を示します。

柑橘系の果物の香り成分などは油によく溶けますからレモンオイルとして黄色の溶液になります。カレー粉はウコンの仲間のターメリックという植物の黄色い色素でカレー独特の色を作っていますが、その黄色の色素クルクミンはあまり水に溶けませんが、油には良く溶けます。そのためカレーライスの後のお皿を水で洗っても簡単には黄色の色素を洗い落とすことが出来ません。特に、ポリエチレンなどのプラスチックは液体ではありませんが電荷の偏りを持たない油の仲間ですから、プラスチックの器に着いたカレーの黄色い汚れは容易に洗い落とすことができません。また、トマトの赤い色素リコピンも水よりは油と仲良しですから、グーラッシュズッペのようにトマトの入ったスープにはリコピンで着色した赤い油が浮いてきます。水と油は昔から仲違いしていましたが、水と仲の良い物質は油と仲が悪く、水と仲の悪い物質は油との仲良しです。仲が良ければ互いに混ざり合って仲間を作るように溶け込んでいきますが、仲が悪ければ2層に分かれてゆきます。社会の関係も水と油の関係も同じ仲良し同士です。この仲良し同士の関係を利用しますと、混合した多くの物質を油の仲間と水の仲良しに分けることができますから、この性質を利用した図 5-2 に示す分液ロートなどの装置や道具で製薬工業や化学の実験室では物質の単離や精製の操作をしています。

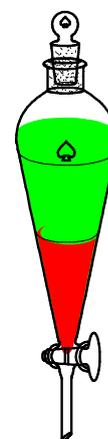


図5-2 分液ロートの略図

このように水は沢山のくの字型に曲がった水分子が強い水素結合により3次元の網目状に絡まった構造をとって一塊として挙動しており、油がこの一塊の中に割り込むときには水素結合の安定化を犠牲にしなければなりませんから、油は水の網目状の水素結合の切断が最小になるように水から遊離して、接触面積が最小になるような最も表面積の小さな球状の塊になるかあるいは2層に分離してしまいます。なるほど、水の持つ強い水素結合による安定化の性質が水と油の間の仲を悪くする結果になっています。

## 何故、脂肪酸の炭素数は偶数？

日常生活に深く関わる油の性質の物質は化学的に3種類に大別されますが、大豆油やごま油や菜種油などの植物油も牛脂や豚脂や鯨油や魚油などの動物油も重要な栄養となる食用の油脂で、種々の脂肪酸のグリセリンエステルです。自然界のあらゆる生物は植物も動物もブドウ糖を二酸化炭素と水に酸化分解して、その反応過程で発生する生成熱を生命の維持に必要なエネルギーにしていますが、その変化の過程で酢酸やグリセリンも副生してきます。グリセリンは図5-1に示すように3つの水酸基を持つ炭素数3の多価アルコールで、それぞれの水酸基(-OH)はエステル結合により脂肪酸と結合できます。脂肪酸は直鎖の炭化水素の一方の末端にカルボキシル基(-CO<sub>2</sub>H)の結合したカルボン酸で、炭素数の数の大きなものほど親油性が強くなります。酢酸は炭素数2の脂肪酸ですから親油性の部分が小さく、如何なる割合でも水に溶けます。炭素数4のブタン酸は若干水に溶けますが、炭素数が6以上の脂肪酸は中性の水にほとんど溶けません。表5-1には人間の脂肪のほかに各種の動物性や植物性の油脂を構成する脂肪酸の重量%と不飽和脂肪酸の割合と油脂の融点を纏めました。動物性の油脂(淡黄色)と魚の油脂(淡緑色)と植物の油脂(淡青色)では構成する脂肪酸に顕著な特色が現れています。

これら全ての油脂は炭素数6~22の脂肪酸が種々の組み合わせでグリセリンの3つの水酸基とエステル結合したグリセリンエステルの混合物ですから、凝固点効果により純粋の脂肪酸のグリセリンエステルよりはるかに低い温度で液状になります。炭素数18の飽和脂肪酸のステアリン酸がグリセリンの3つの水酸基とエステル結合したトリステアリン酸グリセリルは凝固点が81℃を示しますが、1つのステアリン酸が炭素=炭素2重結合の入ったオレイン酸で置き換わったグリセリンエステルでは凝固点が40℃前後に低下します。このように油脂を構成する脂肪酸の中に不飽和脂肪酸が含まれますと油脂の凝固点が低くなる傾向を示しますから、油脂の構成脂肪酸の中の不飽和脂肪酸の割合の高い油脂はさらに凝固点の降下する傾向を示します。人間をはじめ陸上に住む哺乳動物の油脂は不飽和脂肪酸の割合が50%前後で凝固点の高い傾向を示しています。魚類は体温が20℃前後の水温に適応する変温動物です。鯨などの海獣は主に水温の低い海域に生息していますから、陸上に住む哺乳動物の油脂のように魚類や海獣の油脂が高い凝固点では身体が強張ってしまい動きが束縛されてしまいます。そのため魚類や海獣の油脂が不飽和脂肪酸の割合のかなり高いことも頷けます。

このように動物性の油脂では比較的飽和脂肪酸の割合が高く、魚油では一般に不飽和脂肪酸の割合が高くなっていますが、植物性の油脂は多くの場合にさらに不飽和脂肪酸の割合が高くほとんど飽和脂肪酸が含まれていません。これらの比較から、飽和脂肪酸が多くなるほど油脂の融点が高くなる傾向にあることが分かりますが、油脂を食べたり、料理に使ったりするとき、室温での油脂の形はかなり重要な性質と思われます。サラダドレッシングやてんぷらには液状の油を使うことが多いように思いますし、すき焼き用の牛の霜降り肉の間の脂は固まっていないと美味しそうに見えません。イタリア料理ではパンにオ

リーブ油をたらして食べるようですが、普通はパンには固形のバターを塗って食べます。パンに塗り付けるバターは飽和脂肪酸が多くなければなりませんし、不飽和脂肪酸を多く含む油脂でなければてんぷらは上手に揚げられません。

表 5-1 種々の油脂の性質と脂肪酸の割合

油脂名	融点	飽和脂肪酸	不飽和脂肪酸	脂肪酸（重量%）									
				C <sub>6</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>16</sub>	C <sub>18</sub>	C <sub>20</sub>	C <sub>22</sub>
バター	32.2	59.0	35.8	2.0	0.5	2.4	2.6	12.0	1.4	33.6	39.5	3.3	0.0
人間の脂肪	15.0	35.1	64.6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0	29.0	65.5	0.0	0.0
豚脂	30.5	41.5	58.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	31.0	65.4	0.0	0.0
牛脂		47.8	52.1	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	77.0	16.6	0.0	0.0
羊の脂肪	42.0	59.7	40.3	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	0.0	24.6	70.8	0.0	0.0
鯨油		27.9	73.6	0.0	0.0	0.0	0.2	9.3	0.0	30.0	38.0	19.0	1.0
鱈の肝油		14.8	75.1	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	0.0	28.4	20.7	25.4	9.6
鯨の魚油		20.3	78.9	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	0.0	17.9	20.7	30.1	23.2
鰯の魚油		22.9	77.1	0.0	0.0	0.0	0.0	20.5	0.0	26.4	21.0	18.1	14.0
ひまし油	-18.0	2.4	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.9	0.0	0.0
ココアバター	34.1	59.8	40.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.4	75.6	0.0	0.0
ココナッツ油	25.1	91.2	7.9	0.8	5.4	8.4	45.4	18.0	0.0	10.9	9.8	0.4	0.0
コーン油	-20.0	14.6	85.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	11.7	86.9	0.0	0.0
綿実油	-1.0	27.2	72.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	25.4	71.8	1.3	0.0
亜麻仁油	-24.0	9.3	90.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	93.0	0.5	0.0
からし油		1.3	98.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	45.6	0.0	51.0
オリーブ油	-6.0	9.3	89.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.9	91.3	0.1	0.0
やし油	35.0	47.0	53.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	40.1	58.5	0.0	0.0
ピーナッツ油	3.0	13.8	82.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	85.1	2.4	0.0
紅花油		6.8	92.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.9	0.0	0.0
ごま油	-6.0	14.2	85.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	90.1	0.8	0.0
大豆油	-16.0	13.4	86.6	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	10.2	88.5	0.9	0.0
ひまわり油	-17.0	8.7	91.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	93.5	0.9	0.0

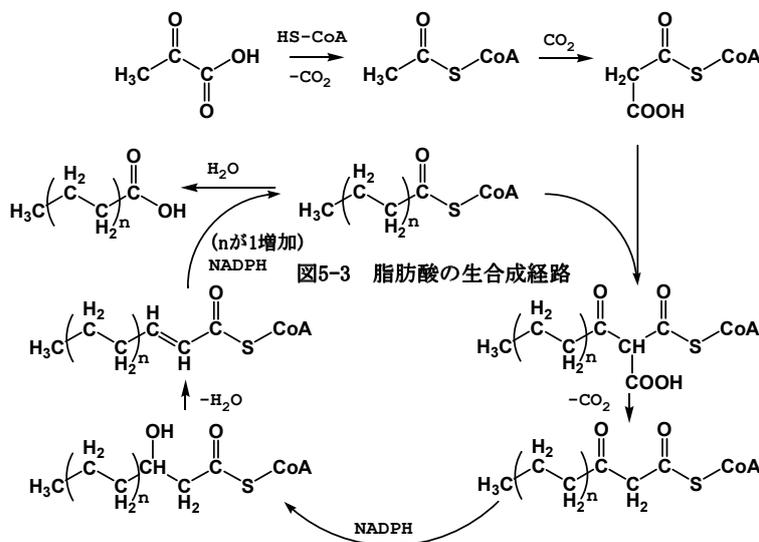
この表 5-1 に掲げたように植物油や動物油は炭素数 5~21 の炭化水素の直鎖を持つ脂肪酸が種々の組み合わせでグリセリンの 3 つの水酸基とエステル結合したグリセリンエステルの混合物です。これらの種々の油脂は構成する脂肪酸の重量%を総和すると 100%に近い値を示していますから、ここに示されている分析結果は全体を良く反映していると考えら

れ、植物油や動物油の油脂は不思議なことに偶数の炭素数の脂肪酸のみで構成されており、奇数の炭素数の脂肪酸がほとんど含まれていないことを示しています。二酸化炭素あるいはホルムアルデヒドから容易に生成するギ酸を除けば、花や果物の香りの成分も主に偶数の炭素数を持つ炭素数 2 の酢酸と 4 のブタン酸と 6 のカプロン酸のエステルに限られています。この不思議を解明するために生化学者が種々の研究をおこない、酢酸の縮合、炭素＝酸素結合の還元、脱水、炭素＝炭素結合の還元を含む一連の反応が繰り返されてゆく機構で、脂肪酸が生合成されてゆくと考えました。

第 3 章でなるほどと納得したように、ブドウ糖などの糖類の酸化分解反応（解糖反応）により生物の活力となるエネルギーを生み出す過程で、ブドウ糖は図 3-18 に示すように異性化反応、分解反応、酸化反応などの反応経路でピルビン酸に変化しますが、複雑な構造を持つ補酵素 A (HS-CoA) と酵素の働きで二酸化炭素を脱離しながら、ピルビン酸は図 3-19 に示すようなチオエステル結合を持つアセチル補酵素 A (CH<sub>3</sub>CO-S-CoA) に変換されます。このピルビン酸が二酸化炭素を失ってアセチル補酵素 A に変化する反応の過程において NADP 陽イオンとリン酸から NADPH が 1 モル作られます。

「何故、ブドウ糖が太陽光エネルギーを蓄える？」で納得したように水素を持った炭素が隣接して結合する炭素＝酸素 2 重結合化合物であれば、アルドール型の反応は酸性条件でも、塩基性条件でも容易に進行します。補酵素 A はこのような縮合反応を阻害しないようにカルボン酸を水酸基のないチオエステルに変換するばかりでなく、アルドール型の縮合反応を加速する効果を持っています。補酵素 A (HS-CoA) が二酸化炭素も取り込んで触媒となり、反応活性を向上させて生物体内では酢酸の 2 量化が進行します。図 5-3 に示すように酢酸の 2 量化したアセチル補酵素 A にはチオエステルのほかにケトンの炭素＝酸素 2 重結合を持っていますが、ケトンの炭素＝酸素結合は NADPH による還元と脱水反応により、炭素＝炭素 2 重結合に変換されてゆきます。この炭素＝炭素 2 重結合も再び NADPH の働きにより、炭素－炭素単結合に還元され、ブタン酸と補酵素 A が結合したブチリル補酵素 A となります。

これが加水分解すればブタン酸を生成しますが、再び、アセチル補酵素 A とアルドール型の縮合反応をすれば、炭素数 6 のカプロン酸に成長してゆきます。この一連の反応が繰り返し生物体内で進行する毎に、炭素数が 2 つずつ増えてゆきますから偶数の炭素数を持つ



つ種々の脂肪酸が生合成されます。さらにこの繰り返しの反応の過程で、NADPH の働きによる炭素=炭素 2 重結合の炭素—炭素単結合への還元が省略されますと、オレイン酸やリノール酸などのような不飽和脂肪酸が生成してきます。

ブドウ糖などの糖類の酸化分解反応（解糖反応）により生物の活力となるエネルギーを生み出す過程で、生成してくるピルビン酸は複雑な構造を持つ補酵素 A（HS-CoA）と酵素の働きで二酸化炭素を脱離しながら、チオエステル結合を持つアセチル補酵素 A（ $\text{CH}_3\text{CO-S-CoA}$ ）に変換されます。このアセチル補酵素 A は縮合反応を阻害しないようにカルボン酸を水酸基のないチオエステルに変換するばかりでなく、アルドール型の縮合反応を加速する効果を持っていますが、二酸化炭素も取り込んで反応活性を向上させ酢酸の 2 量化を進行させます。酢酸の 2 量化したアセトアセチル補酵素 A のケトンの炭素=炭素 2 重結合が NADPH による還元と脱水反応により、炭素=炭素 2 重結合に変換されてゆきます。この炭素=炭素 2 重結合も再び NADPH の働きにより、炭素—炭素単結合に還元され、ブタン酸と補酵素 A が結合したブチリル補酵素 A となります。この一連の反応が繰り返し生物体内で進行する毎に、**なるほど**、生成する脂肪酸の炭素数が 2 つずつ増えてゆきますから偶数の炭素数を持つ種々の脂肪酸だけが生合成されます。

## 何故、精油成分の分子構造にメチル基のひげ？

化学的に 3 種類に大別される油の性質を持つ物質の中で、生物の体内に摂取されて重要な栄養となる種々の脂肪酸のグリセリンエステルのほか、テルペン類やステロイド類などの精油成分はそれぞれ個性的な生理活性を示し、生存競争に打ち勝ち、種の保存をする上で各種の働きを示しています。第 2 章の「なぜ、水は液体？」の節で取り上げましたように全ての同族系列の有機化合物の分子量と沸点の曲線が右上がりになっていることを図 2-4 は示していますが、比較的分子間相互作用の小さな飽和炭化水素や塩化アルキルやカルボン酸エステルなどの同族系列の有機化合物では分子量約 100 を持つ物質が約 100°C で沸騰することも示しています。花や果物にはギ酸や酢酸やブタン酸など種々の脂肪酸エステル類が含まれていますが、分子量が 100 前後ですから比較的揮発性が高く、動物は果物特有の甘い香りと感じます。この香りに誘われて集まってきた昆虫や小鳥が植物の受粉や種子の移動を助け、種の保存に貢献しています。

香草や薬草は人間の健康を保つために古くから広く用いられてきた植物で、薬効を持つものばかりでなく、食物の腐敗を抑える働きをするものや、微生物を殺菌する働きを持つものなどがありますが、これらの生理活性を示す物質にはモノテルペン類と呼ばれる炭素数 10 のアルコール類やアルデヒド類が種々含まれています。このモノテルペン類は約 150 の分子量を持つ比較的親油性の物質ですから、若干の揮発性を示しわずかながら大気中に気化しますが、果物の香り成分と異なりそれぞれ固有の比較的スーッとした香りを強く感じさせます。例えば胡椒はその中でも最も日常生活に溶け込んでいる香草の種子ですが、 $\alpha$ -ピネン、 $\beta$ -ピネン、フェランドレン、カリオフィレン、リモネン、ピペロナル、ピ

表 5-2 香草と薬草の成分と薬効

和名	薬効	薬効成分
アニス	消化剤、去痰剤	アネトール、アニスアルデヒド、アニス酸
オールスパイス	消化剤、殺菌作用	オイゲノール、メチルオイゲノール、シネオール、フェランドレン、カリオフィレン
オレガノ	鎮静、神経痛	カルバクロール、チモール
からし	利尿効果	p-ハイドロキシベンジルイソチオシアネート、チモール、シメン、リモネン、リナロール、カルバクロール
ナツメグ	収斂、止瀉、健胃	ミリスチシン
カルダモン	駆風剤	テルピネオール、シネオール、サビネン、ボルネオール、リモネン、ターピネン
キャラウエイ	抗ダニ剤	カルボン、リモネン
クミン	胃健薬	クミナル、シナムアルデヒド、シメン、ピネン、リモネン
クローブ	芳香健胃	オイゲノール、メチルオイゲノール
月桂樹の葉	抗リューマチ、 抗腫瘍、皮膚病	オイゲノール、メチルカルビコール、ゲラニオール、ネラール、フェランドレン
胡椒	殺菌・抗菌	ピペリン、フェランドレン、カリオフィレン
コリアンダー	芳香剤、駆風剤	リナロール、ピネン、ターピネン、ゲラニオール、ボルネオール、デカナル
サフラン	鎮静鎮痛、通経	サフラナル
山椒	健胃、鎮痛、駆虫	ゲラニオール、ゲラニール、ネラール、リモネン
花椒	健胃、鎮痛、駆虫	ゲラニオール、リモネン、クミンアルコール、シトロネラール
紫蘇	抗アレルギー剤	ペリラルデヒド、ロズマリン酸
シナモン	発汗作用、発散作用、 健胃作用	シナムアルデヒド、オイゲノール、サフロール、酢酸シンナミル
生姜	発散作用、鎮吐作用	ジンギベレン、カンフェン、フェランドレン、ボルネオール、シネオール、ゲラニール、ネラール
ウコン	健胃、利胆、 抗腫瘍、防腐	クルクミン、ターメロン、ジンギベレン、フェランドレン、シネオール
スターアニス	消化剤、去痰剤	アネトール、エストラゴール、シネオール、リモネン、フェランドレン、シキミ酸
フェンネル	芳香健胃	アネトール
セージ	抗酸化作用	ツヨン、シネオール

ペリン、ピペリジンなどの多くの成分が含まれており、独特で複雑な香りを醸し出しています。このほか香草や薬草はそれぞれ固有の香りを持っていますから、代表的な香草や薬草についてその薬効と共に、香りの成分を表 5-2 に纏めました。

このように一種類の果物や香草や薬草でも多くの香り成分を含んでいますから、極めて複雑な香りを醸し出しています。化学者は香りを持つ化合物について多くの知識を蓄積していますが、化学者が香りを持つ化学物質を種々調合しても残念ながら種類に限りがあります。化学者が調合した合成香料はどうしても多少クスリ臭く深みの無いものになってしまい、天然から収穫した香草や薬草の香りを再現することは、ほとんど不可能に思われます。さらに、腕のよい料理人はこれらの果物や香草や薬草を混ぜてより複雑な香りを生み出して料理に深みを与えています。例えば、カレー料理の基本となるカレー粉はウコンや生姜の仲間のクミンを基本にして多くの香草を混ぜ合わせて調合していますから、各家庭や各製造会社の調合の違いにより、味も香りも異なってきます。

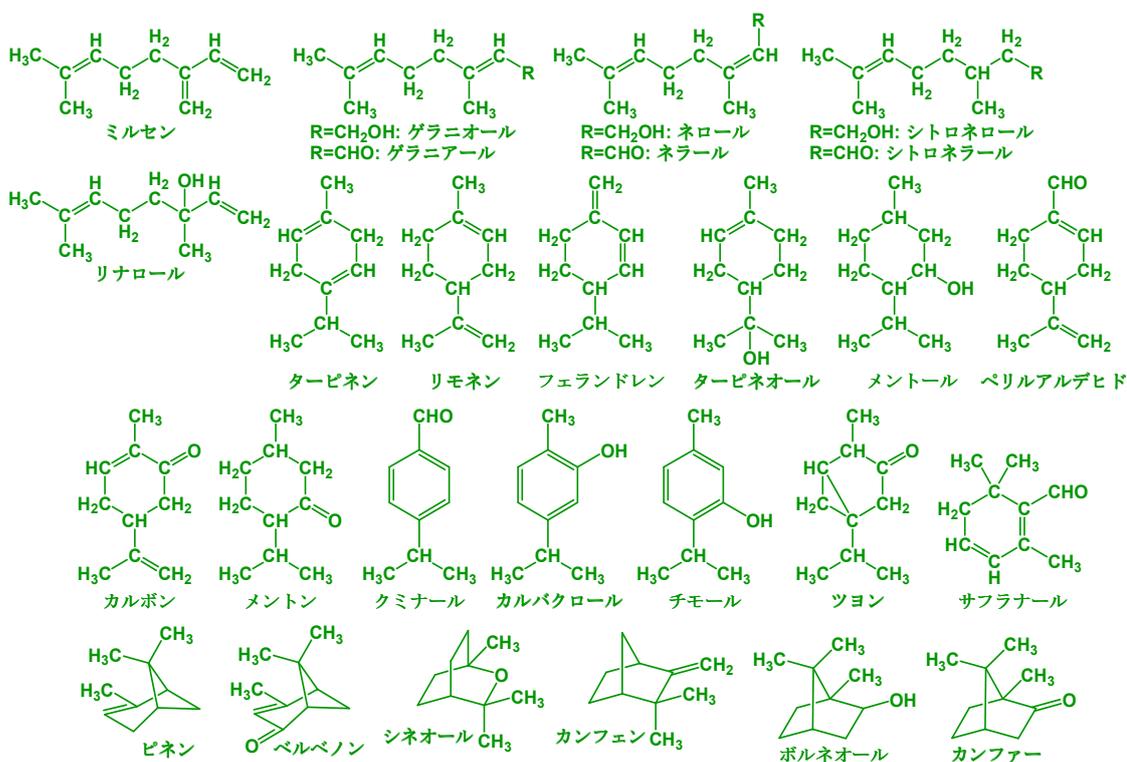


図5-4 モノテルペン類の香り成分

表 5-2 から分かるように、香草や薬草は緑色の文字で示すモノテルペン類を多く含んでいます。他に黒色の文字で示す多くの芳香族化合物も含んでいます。モノテルペン類と同じ生合成経路で生成したと考えられる炭素数 15 のセスキテルペン類も青緑色の文字で示すように含まれています。このように食物の中には種々の香りの成分が含まれていますので、図 5-4 には代表的な香り成分のモノテルペン類を緑色の化学構造式でそれぞれ掲げておきます。また、セスキテルペン類の香り成分を青緑色の化学構造式で図 5-5 にまと

めて掲げておきます。この図を見るとモノテルペン類とセスキテルペン類の化合物は共通する部分構造を持っていることがはっきり読み取れます。このようにモノテルペン類とセスキテルペン類が個々の構造に髭のように出ているメチル基 (CH<sub>3</sub>) など多くの共通する特徴を持っているから、生体内で作られてくる過程が詳細に研究されています。

明らかにされたモノテルペン類やセスキテルペン類の生合成過程は図5-5に示すように考えられています。これらのテルペン類は図3-7に示すようにブドウ糖の解糖反応とピルビン酸の脱炭酸反応により生成するアセチル補酵素Aが原料になっていますが、脂肪酸の生合成経路と異なり、その3分子が枝分かれして重合しメバロン酸になっています。このメバロン酸は二酸化炭素の脱離、脱水、還元、リン酸とのエステル化などの種々の反応の過程を経て、テルペン類の基本単位となる炭素数5のジメチルアリルピロリン酸に変化します。さらに、ジメチルアリルピロリン酸が2分子縮合して炭素数10からなるゲラニルピロリン酸が生成します。このゲラニルピロリン酸は側鎖に髭のようなメチル基を持つ炭素から炭素数3原子の炭素鎖を挿んで、再び側鎖にメチル基を持つ炭素が結合した構造を持っています。このゲラニルピロリン酸は様々な位置における酸化、還元、環化、脱水などの種々の反応を経て、モノテルペン類に変化してゆきます。モノテルペン類は炭素数10原子からなり、炭素数3つの炭素鎖を挿んで側鎖にまたメチル基の髭を持つ基本骨格の一連の化合物群として生物体内に生合成されて、それぞれ生物が生命を保つために重要な働きをしています。

例えば、カンファーは楠の葉や木屑から水蒸気蒸留により容易に精製される代表的なモノ

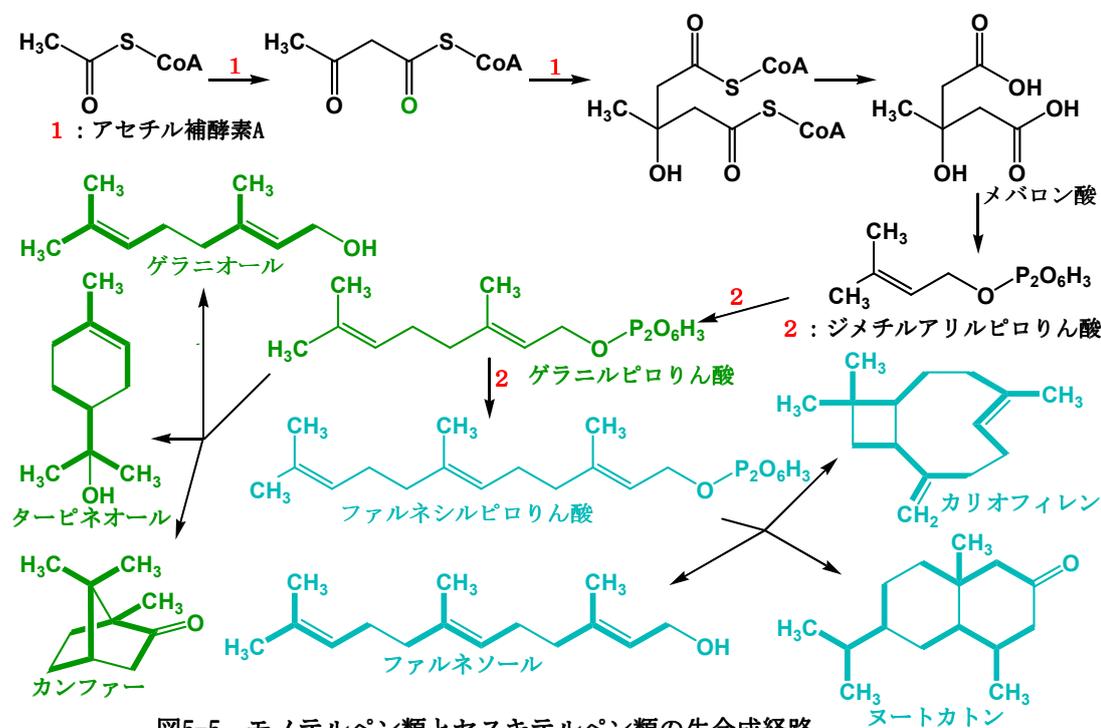


図5-5 モノテルペン類とセスキテルペン類の生合成経路

ノテルペン類で、古くから樟脳と呼ばれ防虫剤として用いられてきました。楠は沖縄や鹿児島などの温暖な地方に生育する照葉樹の一種で、江戸時代には薩摩藩特産の防虫剤として藩の財政の健全化に大いに貢献しました。明治維新以降、薩摩藩が中心となった日本政府は鹿児島の経済を保護するために、塩や酒やたばこのほかに樟脳も専売品に指定して政府が生産から販売まで統制してきました。明治維新から約 100 年後の 1962 年に専売品の指定が解かれて、樟脳は通常の化学製品として扱われるようになりました。防虫効果を持つカンファーを多く含む楠の木材を用いた筆筒は、防虫剤を使用することなく衣服を長期間にわたり収納することができます。

このカンファーのほかに代表的なモノテルペン類のゲラニオールとターピネオールの生合成経路を図 5-5 の中に緑色で示すように纏めましたが、基本単位となるジメチルアリルピロリン酸の炭素骨格を太線で示しておきました。このモノテルペン類は分子量が比較的小さく炭化水素部分の割合が大きいため、揮発性が高く強い香りを持ち、親油性の性質を示しています。モノテルペン類は昆虫などを引き付ける誘引効果を示すものと、反対に遠ざける忌避効果を示すものがあり、香草や香辛料などの香り成分に種々含まれています。

モノテルペン類の母体となるゲラニルピロリン酸にジメチルアリルピロリン酸が縮合するとき、図 5-5 の中で青緑色に示すように炭素数 15 からなるファルネシルピロリン酸が生成しますが、このファルネシルピロリン酸も側鎖にメチル基を持つ炭素から炭素数 3 つの炭素鎖を挿んで、再び側鎖にメチル基の髭を持つ炭素が結合した構造を持っています。ファルネシルピロリン酸もまた、酸化、還元、環化、脱水などの種々の生体内反応により、対応するセスキテルペン類に変化してゆきます。このようにジメチルアリルピロリン酸が基本単位になり、生合成されたセスキテルペン類はモノテルペン類と極めて類似した骨格を持つ炭素数 15 の一連の化合物群と考えられます。セスキテルペン類はモノテルペン類に比較して分子量が大きいため、若干揮発性が低く、蒸気圧が小さいので、室温付近では気体の濃度が高くありません。そのためにカリオフィレンなどのセスキテルペン類を含む胡椒はシチュウやラーメンなどの高温で調理される料理の中でも匂いが失われることなく用いられています。

さらに、セスキテルペン類の母体となるファルネシルピロリン酸にジメチルアリルピロリン酸が縮合して生成したゲラニルゲラニルピロリン酸が中間体になり、酸化、還元、環化、脱水などの種々の反応を経て生合成されたと思われる炭素数 20 の一連の化合物群が生物体内に種々存在します。これら一連の化合物群はジテルペン類と呼ばれて、ビタミン A などのように生物の生命活動に重要な役割を果たしています。また、セスキテルペン類の母体となるファルネシルピロリン酸が 2 分子縮合して生成したスクワレンが生成し、このスクワレンが中間体になり、酸化、還元、環化、脱水などの種々の反応を経て生合成されたと思われる図 5-6 に紫色で示すような炭素数 30 の一連の化合物群はトリテルペン類と呼ばれています。蠟のような性質を持つウルソール酸はトリテルペン類の一種ですが、リンゴや梨などの果実の表面を覆い保護膜の働きをします。同じように生物体内に種々存在す

トリテルペン類は生物の生命活動に重要な役割を果たしています。人参やかぼちゃに含まれる黄色の化合物のカロチンはジテルペン類の母体となるファルネシルピロリン酸が 2 分子縮合して生成し、酸化、脱水などの種々の反応を経て生合成された炭素数 40 の一連の化合物群に属しています。

さらに、トリテルペン類の一種のラノステロールから図 5-6 に赤紫色で示すように、酸化、還元、環化、脱水などの多くの反応を経て、コレステロールが生合成されたと思われます。男性ホルモンの性質を持つアンドロステロン、女性ホルモンの働きをするプロゲステロン、膠原病をはじめとする各種疾患の治療に役立つコルチゾン、胆汁の中に入っている胆汁酸、など各種のホルモンは生命活動の維持のためには重要な働きをしていますが、これらのホルモン類がどれもコレステロールと類似の構造を持っていますから、コレステロールは各種のホルモンの源になる物質であると考えられ、当然、人間にとってコレステロールは極めて重要な物質と思われます。青春世代には旺盛で活発な生命活動をしていますから、コレステロールを多量に必要とし、それに釣り合うだけの量が供給されています。しかし、熟年世代になるにつれて、次第に人間は枯れて行き生命活動は不活発になり、コレステロールの消費量が減少します。過剰になったコレステロールが病気を引き起こす原因になりかねない状況になってきます。

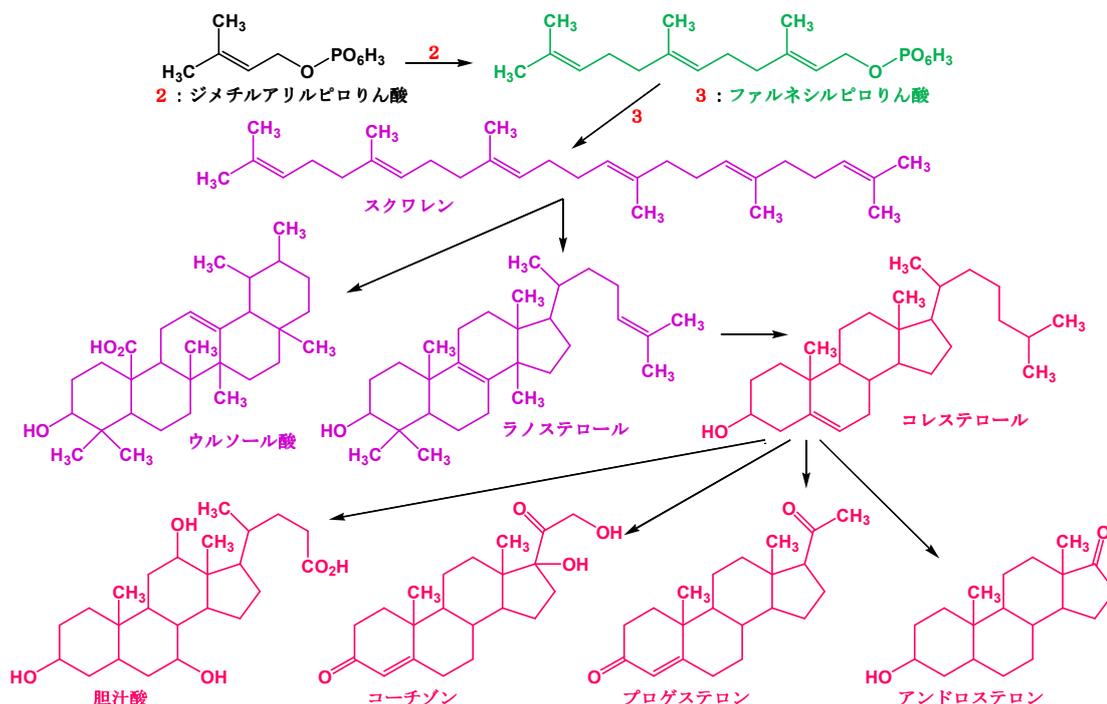
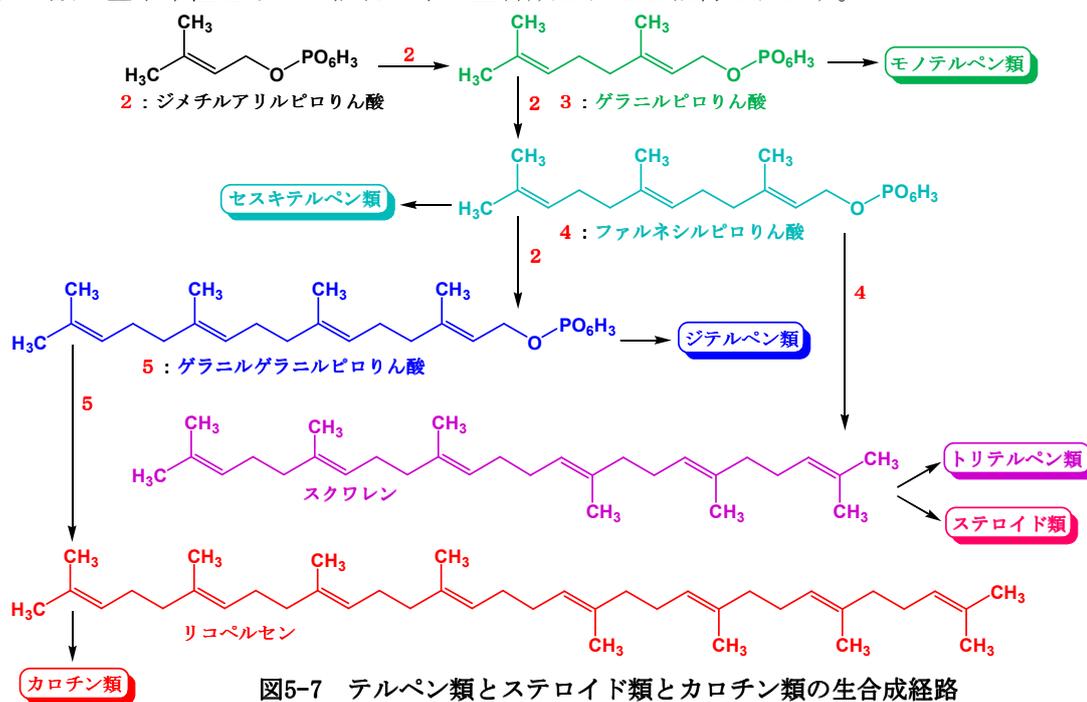


図5-6 トリテルペン類とステロイド類の生合成経路

アマゾン河流域が原産のゴムの木から採れる樹液中にはジメチルアリルピロリン酸が無数に縮合した鎖状の高分子化合物が含まれています。この高分子化合物を硫黄と処理するとジメチルアリルピロリン酸の長い鎖の間に硫黄の橋掛けができ、高い弾性の性質を持つ天然ゴムができます。石油化学工業の発達と共に、ブタジエンから高い弾性の性質を持つ合成ゴムが作られるようになりましたが、それ以前にはこの天然ゴムは貴重な資源で、

太平洋戦争の折にはマレー半島で生産されていた天然ゴムの争奪戦が繰り広げられたほどでした。

このように2つジメチルアリルピロリン酸が結合してゲラニルピロリン酸になり、酸化、還元、環化、脱水などの多くの化学変化を経て炭素数10のモノテルペンが生合成されます。さらに、ゲラニルピロリン酸はジメチルアリルピロリン酸と結合してファルネシルピロリン酸になりますので、同様の化学変化を経て炭素数15のセスキテルペン類が生合成されます。2つのゲラニルピロリン酸や2つのファルネシルピロリン酸が結合してそれぞれ炭素数30と40のスクワレンとリコペルセンになり、トリテルペン類やカロチン類がそれぞれ生合成されます。またスクワレンが環化して生成するラノステロールからメチル基(CH<sub>3</sub>)が一部失われてステロイド類が生合成されます。これらの反応は図5-7のように纏められますが、古くから広く用いられてきた香草や薬草の薬効を持つ成分のテルペン類やステロイド類やカロチン類の分子構造には規則的にメチル基(CH<sub>3</sub>)の髭が生えていますから、なるほど、メチル基(CH<sub>3</sub>)が髭のように炭素鎖に生えている炭素数5のジメチルアリルピロリン酸が基本単位となって植物の中で生合成されたと納得されます。



### 何故、母乳の中では脂肪もタンパク質も溶液状？

先の「何故、油は水と仲の悪い？」の節で納得したように、水と相性の良い性質をしめす親水性の物質は水と相性が良いので水の中に溶け込んで均一な溶液になりますが、油と相性が悪く油の中では遊離して、接触面積が最小になるような最も表面積の小さな塊になるかあるいは2層に分離してしまいます。逆に、水と相性の悪い性質を示す親油性の物質は油と相性が良いので油の中に溶け込んで均一な溶液になりますが、水と相性が悪く水の中では遊離して、接触面積が最小になるような最も表面積の小さな塊になるかあるいは2



魚油などの動物油脂が用いられています。これらの脂肪は主に炭素数 16 または 18 の脂肪酸のグリセリンエステルですから、図 5-9 に示すように水酸化ナトリウムと反応して脂肪酸のナトリウム塩とグリセリンに加水分解します。脂肪酸のナトリウム塩は炭素数 15 または 17 の長い鎖状の炭化水素部分とカルボン酸ナトリウム塩の部分で構成されています。長い鎖状の炭化水素部分は水と相性の悪い親油性の部分構造であり、カルボン酸ナトリウム塩の部分は水の中でカルボン酸陰イオンとナトリウム陽イオンに解離しますから、それぞれイオンとして水と相性の良い親水性の部分構造となります。水の中で石鹸は外側にカルボン酸イオンの部分構造を、内側に炭化水素部分を並べた 1 重膜の世界を作ります。油はこの親油性の別世界の中に逃げ込んで安定化しますから、巨視的に見れば水の中に浮遊する油を石鹸で包み込んで水溶液のように均一化します。逆に、親水性の部分が水と手を繋ぐように内側に並んで膜を作りますと、膜の内側が親水性を示し水と馴染み深く安定化しますし、膜の外側が油と馴染み深い親油性になります。このような 1 重膜の小さな世界が大量の油の中に出来ると、あたかも親水性の物質で内側を塗装された小さな水の別世界が生まれることとなります。

人間が汗などで分泌した油は身体や衣服の汚れのもとになりますから、石鹸などの界面活性剤を用いてこの油を水に溶かして洗い落としてきました。石鹸を用いた洗濯などで油分を乳化して水で洗い流すときに、下水中ではナトリウム塩が中和されて脂肪酸に戻りますが、脂肪酸は廃水中に棲息する多くの微生物により容易に分解されてしまいますから、多少生物化学的酸素要求量 (BOD) の値が高くなる程度で環境汚染の少ない界面活性剤と考えられます。また、幼児が食べてしまうなどの事故により、石鹸が誤って体内に入ってしまう場合でも、胃の中は強い酸性の状態にありますから、中和されて脂肪酸になってしまいます。人間は胃の中で種々の脂肪を消化して脂肪酸とグリセリンに分解していますから、新たに脂肪酸が体内に生成することには全く不都合がありません。結局石鹸の主成分の脂肪酸のナトリウム塩は体内に入っても若干胃の中の酸性度が変化するのみで顕著な毒性は示しません。

生物の身体を維持するためには、短期間に身体を構成している非常に多種多様な物質を新しく作り出さなければなりません。その上、生物の生命現象は時間に対応する非常に複雑な変化ですから、その変化の過程では必ずエネルギーが消費されます。動物は主に食べ物として摂取して、生命の維持に必要な物質の原料やエネルギー源に消化しています。爬虫類や魚類は卵から孵るとすぐに自力で食べ物をとり、生命の維持に必要な物質に消化します。卵から孵ったばかりの四十雀や燕の子供は両親が毎分のように頻りに運んでくれる虫などの餌を食べて巣立ちまで育ちます。しかし、誕生間もない哺乳類の子供は食べ物を入手する知恵も技術も体力も持っていませんから、全ての原材料やエネルギー源を親から与えられています。人間の乳児に至っては歯が無いため咀嚼さえできませんし、消化機能も十分には発達していませんから、必要とする水をはじめすべての栄養が含まれている母乳により身体と生命の維持をしています。

母乳には乳児に必要なすべての栄養素の他に、カルシウムイオンやリン酸イオンなどの骨格を形成する原材料や健康、成長、発達を促進する物質が含まれていますが、母乳の組成は母体の環境や経歴や栄養状態に影響され、母体がアルコールや薬物を体内に保有するときにはそのような乳児に有害な物質も母乳に含まれてきます。そのため、母乳に含まれる成分を正確に表すことが困難ですが、平均的な値として国連大学の Prentice による母乳の成分に関する論文が手元にありますので、表 5-3 に引用させていただきました。一般的な牛乳の成分に比較しますと、乳児のエネルギー源になる表中の赤色枠に掲げた乳糖と緑色枠に掲げたリノール酸やリノレイン酸などの不飽和脂肪酸で構成される脂肪分が多く含まれていることがこの表からわかります。乳糖は容易に水に溶けますが、油の性質を持つ脂肪分は水にはあまり溶けません。カルシウムイオンも表 2-4 に掲げたようにナトリウムイオンなどと比較しますとあまり溶け易い元素ではありません。母親が体内で作り出し、乳房を通して乳児に与えていますから、母乳は水が溶媒の均一な溶液状になっていなければ授乳のときに支障をきたしますが、そのためにはこれらの水に溶け難い成分を界面活性剤の働きにより乳化して、約 13g/100mL の全成分を均一な溶液状にする必要があります。

表 5-3 母乳の成分 (g/100mL)

成分	母乳	牛乳
乳糖	7	4.8
オリゴ糖	0.5	0.005
カゼイン	0.4	2.5
α-ラクトアルブミン	0.3	0.1
ラクトフェリン	0.2	trace
免疫グロブリン A	0.1	0.003
免疫グロブリン G	0.001	0.06
リゾチーム	0.05	trace
アルブミン	0.05	0.03
ラクトグロブリン	trace	0.3
脂肪	4.2	3.8
カルシウム	0.03	0.125
リン	0.014	0.093
ナトリウム	0.015	0.047
カリウム	0.055	0.155
塩素	0.043	0.103

表 5-3 の黄色枠に掲げたタンパク質の中で最も多く含まれているカゼインは幾つかの成分からなっていますが、分子量約 24000 の α-カゼインが大半を占めています。このカゼインは母乳ばかりでなく牛乳にも多く含まれるタンパク質で、約 200 のアミノ酸で構成されていますが、その 20%以上がカルボン酸 (-CO<sub>2</sub>H) を側鎖に持つアスパラギン酸とグルタミン酸で占められており、他に 5 員環構造を有するプロリンとアミノ基 (-NH<sub>2</sub>) を側鎖に持つ塩基性のリジンが多く含まれています。それらの親水性の側鎖がカゼイン分子の一部に集中し、他の部分には親水性を示さない側鎖部分が集中していますから、分子が親水性の部分と親油性の部分をつなぎ合わせるような分子になっています。そのような分子構造をしていますから、カゼインは界面活性剤として働き、水に溶け難い脂肪分を乳化して溶液状にしています。このカゼインは pH4.6 以下の酸性にしますと多く存在する側鎖のカルボン酸がイオンでいられなくなり親水性を失い界面活性剤として働かなくなります。乳酸菌に

よる発酵やレモン汁の添加などにより酸性にしますと、結果として牛乳はヨーグルトやサワークリームに凝固します。また、カゼインに約 5%含まれているセリンの側鎖の水酸基 (-OH) にはリン酸がエステル形で結合しています。このように水酸基にリン酸の結合したアミノ酸を含むタンパク質はリンタンパク質と呼ばれ、カルシウムやナトリウムのイオンと結び付き易い性質を示します。

母乳や牛乳の中に多く含まれているタンパク質のカゼインは構成するアミノ酸の側鎖に多くのカルボン酸の部分とアミノ基の部分を持っていますから、pH4.6 以上の中性領域ではそれらの側鎖部分はイオンに解離して親水性を示します。それらの親水性の側鎖が分子の一部に集中し、他の部分には親水性を示さない側鎖部分が集中していますから、カゼインは界面活性剤としての働き、水に溶解難い脂肪分を乳化してしまいます。母親が体内で作る母乳は、**なるほど**、水に溶解難い脂肪分やカルシウムイオンまでこのカゼインの界面活性剤の働きで乳化して、水が溶媒の均一な溶液状になっていますから、何の支障もなく乳房を通して乳児に授乳でき、含まれている脂肪分やタンパク質や乳糖やカルシウムイオンを栄養にして乳児は健康に成長します。

## 何故、鶏卵の成分は卵黄に集約している？

鶏の卵は古来最も栄養価が高く、病気に罹るなど健康を害するときには薬のような食べ物として珍重されてきました。はがきの送料や新橋一品川間の鉄道運賃がそれぞれ 50 銭 (0.5 円) や 1 円だった第 2 次世界大戦後の時代には卵 1 個が 10 円程度で売買されていましたが、物価の変動にはほとんど関係なく現在でも 100 円で 10 個の卵が入手できます。このように、養鶏の技術などの飛躍的な進歩により、卵は栄養価が高く安価な食べ物として極めて優れています。2015 年に文部科学省が公表した日本食品標準成分表にこの優良食品の卵の成分がかなり詳細に掲げてありますので、卵黄と卵白に分けてその成分量を表 5-4 に抜粋しました。この表からも明らかなように、卵黄と卵白は色や味などの性質の違いばかりでなくその成分も極めて異なっており、その特徴から興味深いことが読み取れます。

卵白は卵の可食部分の約 70%を占めていますが、卵の総量の 8%に満たない成分が比較的低い濃度の水溶液として溶けています。卵白に含まれる炭水化物はエネルギー源となる成分ですし、タンパク質は高い粘性を保つ働きをします。ミネラルは卵の両部分にほぼ同量含まれていますがその組成は非常に異なり、卵白にはナトリウムとカリウムとマグネシウムが多く

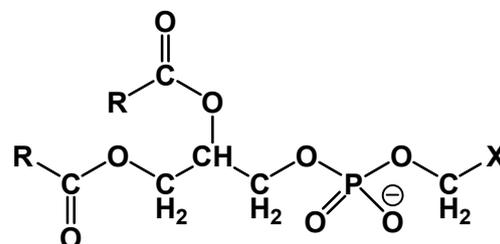
表 5-4 卵の成分(%)

成分	卵黄	卵白
水分	14.87	61.13
炭水化物	0.03	0.28
タンパク質	5.09	7.26
脂質総量	10.33	0.00
レシチン	2.67	0.00
脂肪	7.37	0.00
コレステロール	0.43	0.00
ミネラル	0.31	0.26
ビタミン類	0.42	0.01
合計	31.05	68.94

含まれています。

卵黄は卵の約 30%を占めるに過ぎませんが、卵の総量の約 16%の成分が水を溶媒とする濃厚な溶液の状態に含まれています。特に脂質の大部分を占める脂肪とレシチンは卵黄に局在し卵白には全く含まれていません。ミネラルは卵の両部分にはほぼ同量含まれていますが、卵黄にはリンとカルシウムと鉄とヨウ素と亜鉛が多く含まれています。リンやカルシウムは骨格を形成する主な元素ですし、鉄は血液中のヘミンの中心に位置し酸素による酸化を触媒する働きをします。また、ヨウ素は細胞の新陳代謝を促す働きする甲状腺ホルモンに欠くことのできない元素ですし、亜鉛は細胞の増殖や酵素の活性化に必要な元素と考えられます。脂質に含まれるコレステロールなどのステロイド類は女性ホルモンや男性ホルモンなど各種のホルモン類の前駆物質ですし、ビタミン類は生命活動を維持する上で欠くことのできない物質ですが、これらの物質は卵黄に局在し卵白には全く含まれていません。

卵黄の中に含まれるレシチンは図 5-10 に示すように直鎖の炭素数 11~17 の炭化水素鎖 R を持つ脂肪酸の部分構造と陽イオン性のコリン部分を持つリン酸陰イオンをグリセリンでエステル結合した構造を持っています。脂肪酸部分は水に溶解しにくい性質を示し、コリンやリン酸エステル部分は陽イオンと陰イオンを両方持った両性イオンの構造を持ち水に溶解し易い性質を示しますから、レシチンは天然に用意された食用の界面活性剤と考えることができます。このようにグリセリンの 1 つの水酸基がリン酸とエステル結合し、残り 2 つの水酸基が脂肪酸とエステル結合したレシチンなどの化合物をリン脂質と呼んでいます。先の「何故、母乳の中では脂肪もタンパク質も溶液状？」の節で見えてきたように、界面活性剤は微視的に見れば油の中に小さな水滴を作ったり油の中に小さな水滴を作って安定化しますが、巨視的には相性の悪い油を水の中にあるいは水を油の中に乳化という形で均一な状態に溶解させてしまいます。



ホスファチジルコリン (レシチン)  $X=CH_2N^+(CH_3)_3$   
 ホスファチジルエタノールアミン  $X=CH_2NH_2$   
 ホスファチジルセリン  $X=CH(NH_2)COOH$

図5-10 代表的なリン脂質

比較的に低い温度や高い濃度の状態においては界面活性剤の集合がさらに進みますから、図 5-8 からも分かるように水の中では背中合わせの 2 重膜 (II) の袋を作り両面とも水と馴染み深い膜になります。このような背中合わせの 2 重膜の袋が大きな水の中に出て来ますと、あたかもフラスコのような水の中の小さな水の別世界を作り上げます。この 2 重膜で出来た小さな別世界の中では、基質の量がさほど大量でなくとも基質の濃度が高くなりますから、出会いの反応が早く進行します。この 2 重膜は水などの小さな分子やナトリウムやカリウムなどのイオンをゆっくりと通しますが、タンパク質などのある程度大きな分子の物質は通過することが出来ません。水に溶けた基質の濃度の合計がこの 2 重膜の袋の内側と外側で違う場合には、2 つの水溶液の濃度が等しくなるように水が膜を通過し

て移動しますから、袋の中の溶質の濃度は袋の外側の水に溶けている溶質の濃度により調節されることになり、この現象を浸透圧と呼んでいます。

地球上の生物は図 5-10 に掲げたリン脂質が界面活性剤として働き、広大な海の中に出来た 1 重膜の袋はあたかもフラスコのような小さな油の別世界として独立しますから、親油性の基質がその中に集合して生物を構成する種々の物質が作られてゆきました。さらに、細胞膜と呼ばれるリン脂質の 2 重膜で囲まれた小さな別世界のなかで、基質の量がさほど大量でなくとも基質の濃度が高くなり出会いの反応が早く進行しました。生命活動に必要な物質や組織を作る化学反応が早い反応速度で進行し、地球の誕生から約 7 億年という短期間に生物の出現に至ったと思われます。その後もこのような細胞膜の中で生命の進化や活動を維持する種々の化学反応が行われてきましたから、現在のほとんどすべての生物の組織は細胞膜に包まれています。

界面活性なレシチンの 2 重膜に包まれた細胞で人間をはじめとする全ての生物は構成されていますから、体内に約 70%の水を含んでいるにもかかわらず、溶けて無くなることもなく風呂に入ったり海で泳いだりすることができます。細胞膜が界面活性剤の 2 重膜でできていますから、浸透圧の現象は腎臓などの器官を正常に機能させていますし、日常生活の中でも広く利用されています。「青菜に塩」を振りかければ菜の表面の水分が濃い食塩水になりますから青菜の細胞内の水分を浸透圧で吸い出します。青梅を塩漬けにしたり日干しにしたりして梅干しが作られてきましたが、この操作は 2 重膜の細胞膜を通して水が移動する浸透圧の現象を利用したもので、結果として梅の実は皺だらけに萎んでしまいます。味噌漬けでも粕漬けでも糠漬けでも野菜や魚の旨味成分はそのままに水分だけが吸い出されますし、同時にナトリウムや塩素や水素などのイオンが逆方向に染み込みますから、旨味を濃縮し適度に味付けができます。

鶏卵の約 30%を占めるに過ぎない卵黄のなかに卵の総量の約 16%の成分が水を溶媒とする濃厚な溶液の状態に含まれています。この卵黄には細胞膜に役立つレシチンや脂肪、骨格を形成する主な元素のリンやカルシウム、血液中の酸化反応を触媒する働きを司る鉄、細胞の増殖や酵素の活性化に関わる亜鉛、細胞の新陳代謝を促す甲状腺ホルモンに欠かせないヨウ素、各種のホルモン類の前駆物質となるコレステロール、生命活動を維持する上で欠かせないビタミン類などの成分が含まれています。また産み落とした卵が成鳥に効率よく無事に成長するように、力学的に極めて堅牢な卵型の殻の中で粘性の高い卵白の中に浮遊させて卵黄を外部の衝撃から守っています。このように生命を誕生させ、成長させるために必要なすべての成分が卵黄の中に集約されていますから、なるほど、産卵後 21 日経過しますとひよこになって孵化します。