

身の回りの匂いを 化学する

Ver.1.0.0

鹿島 長次

(2014.4)

目次

1. まえがき	3
食べ物は匂いを嗅いでから口に	3
日常生活を豊かにする匂いの文化	4
2. 生活を支える五感の情報	8
人間の思考や行動を支配する視覚情報	8
聴覚と触覚と味覚の情報	9
主観的で感度の変化し易い嗅覚情報	12
3. 匂いの特徴と分類	15
日常生活を取り巻く気体の匂い	15
食べ物の腐敗臭	17
蛋白質の腐敗	18
世界一臭い物質に認定されたエタンチオール	20
花や果物の匂い	23
脂肪酸の原料はブドウ糖	25
植物の身を守る香草の香り	29
名が体を表さない芳香族化合物	33
香ばしい香りは最も不愉快な匂い物質	37
宗教と結びついた香り	41
猫が恍惚となるマタタビ	44
妖しい香りの麝香	46
4. 温度で変わる空気中の気体物質の濃度	51
エネルギーの釣り合いで変わる恋愛模様	51
分子量 100 の物質は約 100℃で沸騰	54
温度で変わる空気中の水蒸気量	57
1PPM でも十分に匂うスカンクの屁	60
僅か 170 個の分子に感じる雌の蚕蛾の魅力	61
5. 匂いを生かすも殺すも温度次第	64
匂い物質の空気中の上限の濃度	64
人々を錯覚させるガス臭い匂い	65
冷たいアイスクリームやかき氷やビールの匂い	67
お茶の飲み頃	69

料理の香りを決める香草.....	71
燻らせると匂う護摩と香.....	73
エタノール溶液で保存される匂い成分.....	76
6. まとめ.....	81
人間に有益な香りと有害な臭み.....	81
匂いを捉え切れない化学の知識や技術.....	83
索引.....	85
別表.....	91

1. まえがき

食べ物は匂いを嗅いでから口に

人間は身体の水分が不足すると渇きを感じて本能的に水を飲もうとします。身体から塩分が不足すると塩っぱいものが美味しくなりますし、長時間の運動や重労働で身体の各部の活力が不足するときには、ブドウ糖を必要としますから、甘いものが食べたくなります。肉や魚に含まれるアミノ酸は旨味成分として味覚を刺激し、蛋白質が食べたくなるように食欲を促します。このように身体の活力となる炭水化物や構成素材となる蛋白質や脂肪の不足を補うように味覚が刺激して本能的に食欲を促します。毒々しい色は嫌われ、眼を癒す花や芽吹きの色は好まれます。人間に危険を感じさせる爆発の音や地下鉄の車輪が軋みながら走る音などは騒音として嫌われ、小鳥のさえずりや小川のせせらぎの音は平安を感じ、心を和ませる音として好まれます。人間は嗅覚で種々の匂いを嗅ぎますが、身体にとって必要で有益な匂いを**匂い** (smell) あるいは**香り** (fragrance あるいは **aroma**) と呼んで好み、危険や害毒を予知するような匂いを**臭み** (odour) と呼んで嫌います。

鰻屋さんは江戸の昔から店先で煙をもうもうと上げながら蒲焼を焼いていましたが、その鰻の油と醤油の焦げる匂いは美味しい蒲焼を連想させますから、貧乏な八あんと熊さんはこの匂いを又とないお菜にしてご飯を掻き込むという落語の小噺があります。因みに、匂いのただ食いの代金を請求した鰻屋さんに対して、八あんと熊さんはお金の音で支払ったという落ちがついています。生活を共に築き上げてゆく家族や友人や恋人は好ましく、互いに競り合い鬨ぎ合う喧嘩相手や敵は嫌いになります。このように食べ物も、色も、音楽と騒音も、匂いも、恋人も、生活を築き上げ維持してゆくために必要なものは好ましく、生活を破壊し危害を加えるものは嫌われます。しかし、これらの五感の強弱やよし悪しは極めて主観的で変化し易く、人それぞれの嗜好や体調や状況など多くの要素に影響されます。

人間を含めてすべての動物は蛋白質や糖類を食べて身体を作り、生命の維持のための活力にしていますが、その生命活動の過程で利用できない物質は糞尿として排泄します。同じように、微生物も蛋白質や糖類を活力にして生命を維持していますが、同時にその過程で利用できない種々の物質を排泄します。酵母（イースト）はブドウ糖を食べて生命活動を維持しますが、エタノールと二酸化炭素を排泄します。人間はエタノールをこよなく愛していますから、酵母の排泄物を日本酒や葡萄酒としてありがたく頂戴しています。このような日常生活に有益な排泄物を生み出す微生物とは対極的に、ボツリヌス菌と呼ばれる好塩菌の一種は生活環境の悪いところでも生息する微生物ですが、その排泄物は人間に対する致死量が 0.02mg の猛毒物質を含んでいますから、毎年日本国内でも多くの食中毒を引き起こしています。

乳酸菌や大腸菌などの多くの微生物は糖質を食べて酢酸や乳酸などの酸性物質を排泄しますし、蛋白質を食べて窒素原子や硫黄原子を含む種々の物質を排泄します。このよう

にして排泄される窒素原子や硫黄原子を含む物質は多くの場合に特有の臭みを持っています。牛乳の蛋白質を固めたモzzarellaチーズはほとんど無味無臭ですが、青黴を生やしますと蛋白質を元気に食べてブルーチーズに熟成します。この時青黴の排泄物には多くのアミノ酸が含まれますから味わい深くなりますが、同時にブタン酸(酪酸)や窒素原子を含む物質も含まれますから、鼻を掴みたくするような臭みを発します。このように、種々の微生物の排泄物の中には人間の好むものばかりでなく、強い臭気を伴うものや生物にとって有毒なものも多く含まれています。そのため、多くの人は食中毒にならないように鮮度の落ちた食べ物は匂いを嗅いでから口にする習慣を持っています。

食べ物が腐敗したときに、微生物が排泄する物質は窒素原子や硫黄原子を含んでいるために強い腐敗臭を伴います。そのような腐敗臭は食べ物を不味くして不愉快にしますから、日本でも中国でも欧米でも、香りを持つ多くの物を加えてその不愉快な匂いを打ち消して美味しく食べる文化が発達してきました。日本では魚の生臭さをわさびや柚子の香りで、また納豆の独特の匂いは薬味の長ネギの匂いで打ち消します。中国料理では生姜と長ネギの匂いを多く用いて香りを調えますが、強く匂い付けした料理には桂皮(シナモン)、丁香(クローブ)、花椒(カホクザンショウ)、小茴(フェネル)、大茴(スターアニス)、陳皮(チンピ)から調合した五香粉が伝統的に用いられてきました。欧米でもシナモンやクローブやフェネルやスターアニスなどの香草類が肉の臭みを抑えるように多くの料理に用いられてきました。しかもこれらの香草類は強い匂いを発するばかりでなく微生物や虫が嫌いますから、防虫と防腐と殺菌の効果のほか薬理効果を持っています。インドなどの温暖な地方では食べ物の腐敗が短時間に進行し、悪臭を発するようになりますから、胡椒やカレー粉を加えて長期間の食べ物の保存を助けるとともに悪臭を紛らわせて美味しく料理をする文化が発達しました。

日常生活を豊かにする匂いの文化

フェロモンは動物が体外に分泌し、その匂いにより他の同種の動物に一定の行動や発育の変化を促し、他の種類の動物に特異的な行動を触発させる生理活性物質です。その触発する行動の種類により、外敵の存在や自然の脅威を仲間に知らせる警報フェロモン、餌の所在地から住処までの道を仲間に知らせる道標フェロモン、成熟して交尾が可能なことを異性の仲間に知らせて繁殖を促す性フェロモンなどがあります。警報フェロモンは臭みを持ち、道標フェロモンは好ましい匂いを持っています。性フェロモンは年齢や相手など種々の状況により忌み嫌う臭みにも魅力的な香りにも感じられます。毎朝の散歩の折、わが愛犬は性フェロモンと道標フェロモンを認識するために鼻を地面に擦り付けるように随ってきます。当然、人間も動物ですから腋の下などの身体の各部からフェロモンを分泌し、嗅ぎ分ける本能を持っています。その上、微生物は人間の皮膚や汗などの分泌物も食べますから排泄物で汗臭くなります。とくにこれらの微生物は20~40℃の温度を好みますから、夏の夕方になりますと当然汗をかいた靴の中や髪の毛の中や腋の下は強い汗臭さで鼻の曲

がりそうになります。この汗臭さの元になる物質は比較的水に溶けやすいように入浴すると洗い流すことができるようです。

それらのフェロモンや汗などの分泌物の量も、微生物による分解の過程も年齢や生活環境により異なり、体臭と呼ばれるその匂いは個々に強い個性を示しますから、好みが人により非常に異なってきます。恋人の体臭は強くても好ましく感じられ、恋敵にとっては弱い体臭でも不愉快に感じられます。多くの人が集まる室内や盛り場や満員電車では、フェロモンや分泌物の分解物による体臭は互いに不愉快な感じを与えますから、それらの匂いの物質を変性あるいは除去する消臭剤や良い匂いで臭みを紛らわせる香や香水が人間関係を円滑にします。また、婚活や恋愛をする人は異性に興味を持ってもらうことが大切になりますから、警報フェロモンを消し、香水で性フェロモンを補充して強く発散することが効果的です。

節分には「福は内、鬼は外」と叫んで豆を撒きますが、福や天使や御霊や正気は日常生活に必要で有益を齎すものと歓迎され、鬼や悪魔や怨霊や邪気は危険や害毒を齎すものと忌み嫌われてきました。多くの人が集まる場所では、体臭が混ざり合い不愉快な感じを増幅させますから、太古の昔から鬼や悪魔や怨霊や邪気は特有の臭みを持っていると考えられてきました。このように個々に強い個性を示す体臭は互いに不愉快な感じを与えますが、体臭の元になる物質が比較的水に溶けやすく入浴すると洗い流すことができますから、水が豊富で容易に汗を流すことのできる日本ではあまり厳しい問題にはなりません。しかし、大陸の奥地や砂漠地帯などのように水に恵まれない地域では身体を水で洗うこともままなりませんから、体臭が強くなってしまいます。分泌物の分解を抑え、良い匂いを漂わせて臭みを紛らわせる物質が人間関係を円滑にしますから、水で身体を清め、良い匂いを漂わせると鬼や悪魔や怨霊や邪気を追い払うことができると考えられていました。

キリスト教の中で福音派では焼香をしてはならないとしていますが、カトリック協会では聖なる水によって清められるように灌水し、祈りが香のけむりのように受け入れられるように献香します。インドの仏教では香を焚くと不浄を払い、心識を清浄にするとされ、花や灯明を仏前に供するとともに仏前で香を焚くことを供養の基本としています。日本の仏教寺院でも水屋あるいは手水舎で手を清め、護摩や抹香を焚いて焼香し、よい匂いを立ち込めて邪気を追い払います。お彼岸の墓参りには手桶からお墓に水をかけて清め、花を供え、線香を焚いて先祖の霊を祭ります。信仰深い人は毎日仏壇に陰膳を供え線香に火を点けて祈ります。老若男女で連日賑わう浅草寺の本堂の前には大きな香炉が置かれ、図 1-1 の写真のようにモウモウと線香の煙が立ち昇っていますが、参詣する多くの人々はその煙を身体に擦り付けるようにして邪気を追い払っています。その信仰を信じて著者も目がよく見えるように香炉の煙を臉に擦り付けましたので、邪鬼が払われ霊験が現れるものと思います。

このように、フェロモンや分泌物の分解物による体臭は互いに不愉快な感じを与えますから、分泌物の分解を抑え、良い匂いを漂わせて臭みを紛らわせる物質が鬼や悪魔や怨霊

や邪気を追い払うという自然発生的な考えは多くの宗教儀式に今も残っています。さらにこの自然発生的な考え方は香木や香草などを用いて室内や衣服に芳しい香りを染み込ませる習慣を上流社会に生み出しました。香木や香草にも多くの種類があり、甘い香りからツンとするような香りまで種々ありますから、その場の雰囲気にも最も相応しい香りを調合する遊びやその香木や香草の種類を言い当てる遊びが香道として上流社会に生まれました。さらに、究極まで文化が凝縮した茶道では、炭点前の時に用いる炭の中や香炉で香木を焚き、芳しい香りを薫らせて茶席を清めるように発展しました。



図1-1 参詣の人で賑わう浅草寺の香炉

このように香りが権力の象徴となってきましたから、寺社は護摩や抹香を焚く焼香に権威を示す作法を作り上げました。東大寺正倉院には蘭奢待と呼ばれる非常に良い香りを持つ香木が納められていますが、足利義満などの、時の権力者が勝手に切り出して私用に楽しみました。旧弊な支配階級を否定する意味で、父親の葬式に護摩を位牌に投げつけて権威に逆らった織田信長も、蘭奢待を切り出しておのれの権威を同じように誇示しました。

現代の社会では匂いが権威の象徴になることはほとんどありませんが、多くの物の個性を強調する働きをしています。「貴女は何を着て寝るのですか？」という新聞記者の質問にマリリン・モンローが「シャネルの5番」と答えましたが、美人は常に芳しく香っていてほしいもので、汗臭い女性は美人でも幻滅を感じます。ジャマイカ産のブルーマウンテンコーヒーでなければコーヒーではないという人もいます。梅が香り、沈丁花が匂い立てば春を間近に感じられます。匂いは精神的にも多くの作用をしますから、円やかな香りを用いたアロマテラピーは気持ちを落ち着ける働きをします。このように不愉快な臭みを打ち消し、好ましい香りを楽しみながら日常生活を豊かに快適にしています。

多くの人は食中毒にならないように鮮度の落ちた食べ物は匂いを嗅いでから口にする習慣を持っています。フェロモンの匂いは人間に行動や発育の変化を促し、他人に特異的な行動を触発させます。このように脇役ながら五感の一つとして嗅覚は日常生活に大きな役割を演じています。日常生活に必要で有益な匂いは芳しい香りとして好み、危害や害毒を予知する匂いは臭みとして忌み嫌います。太古の昔から鬼や悪魔や怨霊や邪気は特有の臭みを持っていると考えられていたため、良い匂いを漂わせて臭みを紛らわせる物質が鬼や悪魔や怨霊や邪気を追い払うという自然発生的な考えは多くの宗教儀式になりました。鬼や悪魔や怨霊や邪気を追い払うことが為政者の重要な役割でしたから、芳しい香りが権力者にとって極めて重要なものであったため、上流社会で好まれ、香道や茶道などの文化

に凝縮してゆきました。このような宗教の儀式や権威の象徴や文化の一部に大きな影響をもたらしている匂いについて、本書では化学の知識や過去の成果を基にして独善的に考えてゆこうと思います。日常生活を取り巻く種々の物質の匂いを考え、何か一つでも化学の研究や教育に役立つものが見つけ出せれば良いと思っております。また、匂いの物質の特性を考えることで日常生活を豊かにする助けになれば、本書はさらなる意義を持つことになると思われます。

2. 生活を支える五感の情報

人間の思考や行動を支配する視覚情報

鷲や鷹などの猛禽類は上空高くから地上に鼠や小鳥を識別する視覚を持っていますし、蝙蝠は夕闇に飛ぶ虫を見つけて食べています。夏の初めにスズメバチが木の高い枝に巣を作る年は秋に大雨が降り、低い枝に作る際には大風が吹くと言い伝えられています。浅間山が2004年に噴火した折に、著者は愛犬とともに火口から比較的近いところに偶然滞在していました。愛犬が突然気の狂ったように唸り声をあげてから約30秒後に、大きな音とともに強い爆風が窓ガラスを強く揺らしました。このように、それぞれの動物の生活様式に適応するようにその五感の能力は異なっていますが、生存競争に打ち勝ち、生命活動を維持し、子孫を繁栄させるために、視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚の五感を用いて生活に必要な情報を集めることはすべての動物の持つ本能と思われる。人間も眼で見、耳で聴き、手で触れ、口で味わい、鼻で嗅ぐことにより多くの情報を集めてきました。

光は $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ の速さで直進しますから、情報源から発せられる光の情報が眼に届くときに時間的なずれのないままに直接認識されます。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対象物の光学像を網膜上に結び、情報源から来る光のエネルギーにより網膜上で起こる化学変化を視神経が知覚し、その情報を大脳皮質の視覚野で整理する機構を持っています。人間の眼が顔の前の方向を向いていますから、眼から得られる情報は顔の前方からだけに限られており、後方にある情報源は全く認識できません。しかも、睡眠などで瞼を閉じて光を遮断しているときは情報を集めることができません。しかし、この眼の機構は精巧にしかも堅牢にできていますから、長年にわたりほとんど故障することなく視覚が極めて高い精度と感度を維持します。そのため、視覚により得られる情報が人間の思考や行動を主に支配しているように思います。

人間の眼の中で、レンズの役割を果たしている水晶体は年齢を重ねる間に次第に劣化して黄白色の濁りを帯びてきますから、入射した光が散乱してレンズとしての性能が低下してしまい、白内障と呼ばれる視覚障害を発症します。白内障を患いますと黄色に変色し劣化したレンズを通して像を結ぶのですから、黄色のサングラスをかけたように、当然白色の物も黄色に見えるはずですが、大脳皮質の視覚野で目からの黄色の情報を白色と修正し整理して認識します。著者は数年前に白内障を患い非常に視力が低下してしまいましたので、左眼の水晶体の蛋白質をポリアクリロニトリルのレンズと交換する手術を受けました。手術前に白色と思っていた物を術後に改めて見直したところ、左眼では明暗の差が際立って鮮明な本当の白色に見えるようになりましたが、手術を受けていない右眼では黄色く見えるようになりました。このように、人間は眼が対象物を最適の条件で見て情報を取り込み、大脳皮質の視覚野が主観的に整理し認識する特性を持っています。

近年の科学技術の進歩に伴い種々の道具や機器を利用して、人間は更に広く多くの情報を収集し生活に役立てるようになってきました。銀イオンに光が当たると極めて少量なが

ら還元して金属銀が生成します。この金属銀を核にして適当な大きさまで銀粒子を成長させて光の当たった部分が黒い点の像を形作るように現像します。銀塩写真の技術では、0.001 秒の短い時間にあたる光でも像を作ることができますから、一瞬の情景を記憶にとどめることができます。150 年ほど前に発明されたこの銀塩写真の技術により、人間の表情や情景を切り取るように記憶に残していますから、坂本龍馬の風貌や太平洋戦争後の東京の焼け野原の情景や息子の成長の記録を現在もかなり正確に見ることができます。

また、太陽電池は光のエネルギーを電気エネルギーに変換する装置ですが、画素と呼ばれる小さな太陽電池を整列させ、そこに光学系を通して像を結びますと、各画素にあたる光の強弱に応じて電流に変換しますから、デジタルカメラではこれらを整理し像を作っています。このデジタルカメラの技術を利用したビデオカメラが商店の入口や店内ばかりでなく、駅の構内や道路にまで常時作動して、被写体となる人間の挙動を長時間にわたり監視しています。人間の眼では種々の波長の光の混ざった光を色として認識していますが、プリズムを通して種々の波長に分離した光を小さな太陽電池に当てて、電流に変換すれば各波長の光の強さが電流量として測定できます。この技術は分光光度計に応用されて、種々の科学における色に関係した研究や成分分析に利用されています。さらに、人間の目には見えない X 線やマイクロ波を用いた胸部 X 線撮影や MRI で体内の奥深くまで見ることができます。

眼の代役となる写真や分光器のような道具や機器は測定条件を予め設定して作動させますから、精度や感度が不十分になるような悪条件でも状況の変化に無関係に眼の代わりに働きます。そのため、代役の道具や機器は一定の基準の光の強さに対する違いを情報として常に与えてくれますから時間的な変化などを調べることができますが、眼は対象物を最適の条件で見て大脳皮質の視覚野が主観的に整理し認識しますから、基準値からの違いを客観的に調べることはできません。光の強さも形も色も人それぞれに異なった個性をもって対象物を見ているし、都合のよいように変形して記憶に残します。ピカソにとってはヒラメやカレイのように 2 つの目が鼻の片側に見えますし、富士山が赤く真っ赤に見える浮世絵師も出てきます。これに対して、統一した条件で代役の道具や機器を用いて見るときには同じ強さの光は同じ情報を与えてくれますから、光の色も強さも客観的に測定し、統一した単位で数値化することができます。しかも道具や機械は疲れて寝ることも食事をすることもありませんから、文句一つ言うことなく長時間にわたり見続け、記憶し続けます。目に焼き付くような記憶でも長年の間には薄れて美化されてゆき、死とともにその記憶は完全に消滅しますが、坂本龍馬の銀塩写真のように、眼の代役となる道具や機器による記録は 150 年を超すほどの長年の時間経過にもかかわらず忠実に再現されます。

聴覚と触覚と味覚の情報

音は地表では約 300m/s の速さで伝搬する空気の圧力変動が振動する縦波で、局所的に空気の密度の変動を引き起こしますから、光と異なり間に障害物があっても回折して到達

します。人間の耳は外を向くように頭の右端と左端に20cmほど離れて2つ付いていますが、その特殊な形により指向性をもって選択した音波が鼓膜を振動させます。しかも、音波が右耳に到達してから左耳に到達するまでに最長0.0005秒程の時間的なずれを生じます。両耳の鼓膜の振動はそれぞれ情報として大脳皮質の聴覚野に伝えられ、そこで音の高低や強弱や時間的なずれから音源の位置や性質を解析処理して、耳に入る音を認識しています。耳が頭の左右にあり音波が回折しやすい縦波ですから、人間は周囲の全ての方向の情報を間接的に聴覚により認識することができます。

人間が認識する音は対象物の音を拾い出し騒音などの不要な音を消し去りますから、地下鉄の車内のように大きな騒音の中でも会話することも、車内放送を聞き取ることも来ます。寝言を云ったり大きな鼾をかくような人でも、当人にはほとんど聞こえていませんし全く記憶にも残っていません。昼食後の授業で教壇からの声が急に弱くなったり途切れたりした経験をお持ちの読者もあると思います。小学館の国語大辞典によれば他人の言うことを聞く考えがないときに「聞く耳持たぬ」といいますが、このように聴覚は人間の意思に従って対象物の情報を主観的にしか与えてくれない傾向があります。

耳の鼓膜が振動することにより音を感じるように、聴覚の代役を務めるマイクロフォンも音波が薄い膜を振動させ、その時の音の強さや音色に応じた振動の大きさを電流量に変換しています。この時、種々の音を取捨選択することなく、時間的ずれもなくすべて音波の強さに比例した電流量に忠実に変換します。逆にスピーカーやイヤフォンでは、微妙に変化する電流を電磁石に通電して薄い膜を振動させ、膜に接する空気を振動させて音を時間的なずれもなく忠実に発生します。このマイクロフォンで変換した電流量の変化を遠く離れたところまで送り、スピーカーで音に変えれば電話となります。10km以上離れたところまでは雷鳴や花火などの大きな音でも人間の耳に届きませんが、電話を使えば地球の裏側のニューヨークの友達とも内緒話をすることができます。同じ原理で、放送局は音波を電流の強弱に変え、電波に乗せて送っていますから、その電波を再度電流の強弱に変換しスピーカーで音波に変換するラジオの放送も音を送っています。近年、マイクロフォンで拾った騒音から逆の位相の音波成分の騒音を発生させて打ち消し合い騒音を低減させ、聞きたい音だけを聞くことのできるノイズキャンセリングという機能を持つイヤフォンが市販されるようになりました。さらに、電流量の変化を数字に変えて記憶すればCDとして録音することもできます。聞く耳を持たない人には何も聞こえませんが、マイクロフォンはすべての音を忠実に電流に変えます。騒音計という機器が市販されていますから、工場などの騒音公害を示すために音の強さがいつでも数値として測定できるようになっています。

統一した条件で代役の道具や機器を用いて聞くときには同じ強さの音は同じ情報を与えてくれますから、音の強さも音色も客観的に測定し、統一した単位で数値化することができます。しかも道具や機械は疲れて寝ることも食事をすることもありませんから、文句一つ言うことなく長時間にわたり聞き続け、記憶し続けます。焼夷弾の落下するときの恐

怖を伴った音など耳に残るような記憶でも長年の間には薄れて美化されてゆき、死とともにその記憶は完全に消滅しますが、耳の代役となる CD などの道具や機器による録音はフルトベングラーが指揮をする交響曲「運命」のように 70 年を超すほどの長年の時間経過にもかかわらず忠実に再現されます。

触覚は情報源の表面が滑らかかざらざらしているか、硬いか柔らかいか、さらには冷たいか温かいかなど直接肌に触れたときに得られる感覚です。しかし、文明の発展とともに人間は衣服を纏いほとんど肌を露わにすることがなくなってきましたから、直接触れることのできる肌は手や顔などに限られています。子供の挙動が尋常でないとき母親は子供の額に手を当てて体温を確かめますし、「肌寒い」や「爛酒は人肌で」という言葉があるように肌に充てて微妙な温度を調べてきました。個々の体温の違いや体調の違いにより体感温度には個人差がありますから一般化することはできませんが、首まで浸るように入浴した時と指先で触れた時の体感と温度の関係を著者の経験を基にして表 2-1 に纏めてみました。触覚は直接接触しなければ情報を与えませんから、身体に損傷を与えるような情報源からは情報を得ることができません

表 2-1 触覚で感じる温度

し、この表からもわかるようにその精度も感度もあまり高いものではなく、手で触れただけでは温度範囲も狭く精度もかなり大雑把な温度しかわかりませんが、理科の授業で使う温度計では-50~100℃まで正確に測ることができます。近年、耳の穴に差し込むだけですぐに体温が測れる体温計まで開発されています。

温度	入浴した時	指先で触った時
0~10℃	皮膚が痛い感じ	痺れる感じ
10~20℃	身体が締る感じ	ヒヤッとする感じ
25~30℃	生温い感じ	温度を感じない
35~40℃	ぬるま湯の感じ	少し温かい感じ
40~45℃	気持ち良い感じ	温かい感じ
50℃	熱く痺れる感じ	長く触れない感じ
70℃		瞬時でも熱い感じ

温度は温度計で、材質の成分は X 線や電子線を照射して分析する XMA や EPMA で、材質の硬さは硬度計で、吸着する気体の量から表面の滑らかさは比表面積測定装置でそれぞれ高い感度と精度をもって個々に調べることができます。しかし、触覚は情報源の材質や表面の状態の情報を総合的に与える感覚ですから、これに代わる総合的な道具や機器はほとんど開発されていません。

味覚は食べ物が口の中に入った時にのみ情報を与えるものですから、非常に限られた部分で非常に限られた目的のために特化した触覚と考えられます。身体にとって必要な食べ物と有害な食べ物を取捨選択するための情報を得ることを目的としていますから、味覚は舌にある味覚を感知する部分に食べ物に含まれる分子が接触した時に情報を感じる機構になっています。人間の基本的な味覚は酸っぱい、甘い、苦い、塩っぱい、旨いの 5 味と考えられています。身体の水分が不足すると渇きを感じて本能的に水を飲むように行動します。身体から塩分が不足すると塩っぱいものが美味しくなりますし、長時間の運動や重労働

働で身体各部の活力が不足するときには、ブドウ糖を必要としますから、甘いものが食べたくになります。肉や魚に含まれるアミノ酸は旨味成分として味覚を刺激し、蛋白質が食べたくなるように食欲を促します。人間にとって欠くことのできないアデニンの原料となるイノシン酸は極めて重要な必須の栄養素ですから、好んで食べて体内に摂取したがるように旨味の味覚ができています。このように身体活力となる炭水化物や構成素材となる蛋白質や脂肪の不足を補うように味覚が刺激して本能的に食欲を促します。

反対に、多くの動物は毒性の物質を体内に取り込まないような本能的な自己防衛の能力を備えています。蛋白質やでんぷんが腐敗するときには、種々の毒性の物質を生産しますが、同時に食べ物の味はしばしば酸っぱくなったり苦くなったりします。そのために、酸味と苦味を不快な味覚と感じて、人間は本能的に自己防衛をしてきました。味覚の未発達な子供たちは動物的な本能であまり強い酸味と苦味を好みませんから、母親の乳首にキニーネなどの苦味物質を塗って母乳で育った乳児の乳離れを早めることがしばしばあります。成人して味覚が発達するほど酸味や苦味を好むようになり、夏の夕暮れには限りなくビールを飲みたくなります。「空腹は最良の調味料」といわれるほどに、味覚は視覚や聴覚よりもさらに強い主観的な特性を持っています。長時間の肉体労働や運動の後には、水が最も美味しくなり、塩辛いものが美味しく感じられます。身体に必要とされるアミノ酸や糖類などの栄養を美味しく感じますし、腐敗などによる有害な物質を不味く感じます。同じ料理でも薄汚れた鍋から食べる場合と、綺麗な皿に盛りつけられた場合では異なる味わいになります。このように味覚は個人的な嗜好や経験が大きく影響しますし、食べる時の体調や雰囲気や精神状態などに大きく影響されます。

食べ物の味が酸っぱいかどうかはリトマス試験紙で瞬時にわかりますし、食べ物の旨味のもとになるアミノ酸の量はアミノ酸分析計と呼ばれる機器で正確に分析できます。近年のスーパーマーケットでは果物の値札の横に甘さを示す糖度が明示されていますから、味見をしなくても甘いリンゴを買うことができます。しかし、味覚は個人的な嗜好や経験や食べる時の体調や雰囲気や精神状態などに大きく影響されますから、基本的な酸っぱいと甘いと苦いと塩っぱいと旨いの5つの味でさえ絶対的な尺度がほとんどありません。食べることは生命を維持するための根源的な活動ですから、その活動が有用か有害かを判断する最も重要な情報を与える味覚は当然利己的であると思われます。

主観的で感度の変化し易い嗅覚情報

嗅覚は匂いの情報を得ることに特化した触覚の一つで、呼吸をする時に外気が通り過ぎる鼻の中にありますから、空気中に含まれる物質が接触して情報をもたらします。空気は主に窒素と酸素で構成されていますが、二酸化炭素やアルゴンのほか、種々の物質から気化してきた多くの気体の分子が含まれています。一昔前の漫画には胡椒の粉が飛散してクシャミが止まらなくなる場面が良くありましたが、杉や檜の花粉をはじめほこりや黄土や煤などの非常に細かい粉末もまた空気中に浮遊していますから、当然鼻の粘膜に接触して

情報をもたらします。

自由に動き回る気体の分子は、壁に衝突すると壁は質量を持った分子から何がしかの力を受けます。これを圧力といいます。気体の衝突で受ける力は分子の数が少なければ小さく、分子の数が多ければ受ける力も大きくなります。密度がある一定体積中の分子の数を意味していますから、気体の圧力はその体積に反比例し、気体の分子の数に比例します。また、分子の衝突で生まれる圧力は分子の質量 m とその分子の運動の速度 v に比例します。1モルの気体の分子の数 N_a はアボガドロ数 $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ですから、一定体積 V 中の n モルの気体分子の圧力 P は式 2-1 の関係式に纏めることができます。さらに理想気体定数を R とすると、式 2-2 に示す n モルの理想気体の状態方程式を加味すると式 2-3 のように表すことができます。この式を変形しますと気体の分子の平均速度はその分子量 M_w に反比例します。イタチやスカンクの発する屁の匂い成分スカトールの分子量は131ですから、気温 27°C のとき式 2-2 に代入しますとスカトールの分子の運動平均速度 v は秒速 239m と算出されます。音波ほどではありませんが、かなりはやい速度で気体の分子の飛び回っていることがこの計算結果からわかります。気体の分子は風に流されて空気とともに移動しますが、風のない状態でも気体の分子は平均速度 v で自由に空気中を動き回り、広い周囲に拡散し移動してゆくことを意味しています。

$$P = \frac{nN_a m v^2}{3V} \quad \text{式 2-1}$$

$$PV = nRT \quad \text{式 2-2}$$

$$v = \sqrt{\frac{3RT}{N_a m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M_w}} \quad \text{式 2-3}$$

物質の性質や分子量などにより差異がありますが、多くの物質はわずかずつ気化して気体の分子として周囲の空気中に拡散してゆきます。鼻はこれらの種々の物質が鼻孔から吸い込まれ、鼻の粘膜に接触して検出することにより種々の情報を得ていますが、空気中にわずかに含まれるこのような気体の分子や非常に細かい粉末の情報を整理して、その発生源となる物質の所在や性質を推測します。例えば、スカトールの匂いがほのかに匂えばどこかにイタチがいるとわかりますし、強烈に匂えばイタチが最後っ屁をして逃げたと考えられます。

人間は他の動物に比べて優れた視覚を持っていますし、際立った天敵や対処できない害毒もあまりありませんから、嗅覚などの五感がかなり退化していますが、嗅覚により得られる情報が思考や行動を主に支配している動物もいます。例えば犬の嗅覚は平均して人間の $1000 \sim 10000$ 倍程度と考えられていますが、特別の物質に対しては人間の1億倍まで感知できるようです。瞼を閉じてじっと動かずに眠っているときには視覚の情報も触覚の情

報も入りませんし、食べ物を食べないときには味覚の情報も入りません。しかし睡眠中でも呼吸をしていますから、嗅覚は空気中に含まれる物質と接触して情報を送り続けますから、不意に起こる状況の変化の情報を的確に捉える傾向があります。五感はすべて連動していますから、一度不意の状況の変化を捉えた後には、精度や感度の高い視覚や聴覚や味覚が主に情報を集める働きをします。これに対して、この不意の変化による匂いを消し去り、嗅覚は全く匂いのない状態に戻って、次に起こるかもしれない不意の状況の変化に備えます。犬ほどではありませんが、生存競争に打ち勝ち、生命活動を維持し、子孫を繁栄させるために、このように人間も嗅覚で生活に必要な情報を集める本能をもっています。

近年の科学技術の進歩に伴い視覚と聴覚に代わる役割をし、情報を記録し、数量化する種々の道具や機器が開発され、広く多くの情報を収集し生活に役立てるようになってきました。空気中に含まれる気体物質の成分比やそのそれぞれの化学的性質は非常に高い精度と感度でガスクロマトグラフィーや質量分析計などの測定機器で容易に測定することができます。人間は嗅覚により、身体にとって必要で有益な情報を**匂い** (smell) あるいは**香り** (fragrance あるいは aroma) と感じて好み、危険や害毒を予知するような情報を**臭み** (odour) と感じて嫌います。しかし、匂いの強弱や良し悪しは極めて主観的で変化し易く、人それぞれの嗜好や体調や状況など多くの要素に影響されます。スカトールはイタチが自衛のためにする最後っ屁の成分ですから、空気中に大量に含まれているときには鼻を掴みたくなるような臭みと感じますが、少量だけ含まれるときにはよい香りとして好まれますから、多くの香水に微量に調合されています。嗅覚は次に起こるかもしれない不意の状況の変化に備えて、短時間の中にその感度を弱めてゆき、全く匂いのない状態に戻ります。このように人間の匂いの好みは主観的で嗜好や体調や状況などに影響されますが、嗅覚の代役となるガスクロマトグラフィーや質量分析計などの道具や機器は空気中に含まれる物質の量を測定できますが、その匂いが良いか、忌み嫌うような臭みかを判断できません。嗅覚に代わる道具や機器はいまだに作られていませんから、匂いが重要な要素となる食品や化粧品などの産業では、匂いの良し悪しは調香師と呼ばれる特技を持った人によって最終的に判断されています。

3. 匂いの特徴と分類

日常生活を取り巻く気体の匂い

食べ物が腐敗したときに、微生物が排泄する物質は窒素原子や硫黄原子を含んでいるために強い腐敗臭を伴います。そのような腐敗臭は食べ物を不味くして不愉快にしますから、日本でも中国でも欧米でも香りを持つ多くの物を加えてその不愉快な匂いを打ち消して美味しく食べる文化が発達してきました。多くの人が集まる室内や盛り場や満員電車では、フェロモンや分泌物の分解物による体臭は互いに不愉快な感じを与えますから、それらの匂いの物質を変性あるいは除去する消臭剤や良い匂いで臭みを紛らわせる香や香水が人間関係を円滑にします。多くの人の集まる場所では、体臭が混ざり合い不愉快な感じを増幅させますから、太古の昔から鬼や悪魔や怨霊や邪気は特有の臭みを持っていると考えられてきました。このように個々に強い個性を示す体臭は互いに不愉快な感じを与えますが、分泌物の分解を抑え、良い匂いを漂わせて臭みを紛らわせる物質が人間関係を円滑にしますから、良い匂いを漂わせると鬼や悪魔や怨霊や邪気を追い払うことができると考えられていました。

多くの研究者の長年の努力により約 5 千万種の物質の性質が現在までに明らかにされてきました。それらの内でかなり多くの物質は匂いに関する情報を明らかにされていませんが、それでも種々の物質について匂いに関する情報が報告されています。それらの匂い成分に関する多くの情報を整理して、その分子構造と匂いの特徴の間の関係をまとめてみようと思います。人間の気持ちを落ち着かせて幸せをもたらす良い香りの特徴と成分の分子構造の関係を考えるばかりでなく、不愉快で忌み嫌われる臭みの成分についても考えてゆきます。

人間は鼻から空気を吸い込んで酸素だけを取り込み、二酸化炭素を吐き出していますから、常時鼻は窒素や酸素や二酸化炭素の気体分子と接触しています。幸い、これらの気体は無味無臭ですから、常時呼吸していても全く匂いを感じずに済みます。人間の嗅覚では無味無臭の二酸化炭素も蚊にとっては好ましい匂いのようで、ビールの泡に含まれる二酸化炭素に釣られて蚊が集合しますから、夏の芝生でのビールの飲み会は蚊との戦争です。この蚊の好みを利用してウエストナイル熱の流行ったアメリカでは、プロパンガスを燃やして二酸化炭素を発生させて蚊を誘き寄せ、集まった蚊を掃除機のように吸い取ってしまう蚊取機が市販されました。

同じように一酸化炭素も無色無味無臭ですから全く視覚でも味覚でも嗅覚でも感じることなく体内に入ってきますが、人間にとっては極めて有毒な気体ですから、五感で感じ難い極めて危険な気体と考えられます。体力の小さなカナリヤなどの小鳥は先に中毒症状を起こしますから、カナリヤと一緒に部屋で一酸化炭素を扱う実験しているという話を聞いたことがあります。塩化水素やアンモニアや硫化水素も極めて有毒な気体ですが、それぞれ特有のツンとする刺激臭や呼吸が止まるような匂いやゆで卵の匂いを持っていますか

ら、嗅覚により比較的容易に危険を察知することができます。

テレビのミステリードラマを見ていますと、鑑識係の人が死人の口に鼻を近づけて猛毒の青酸化合物の服毒を推測しています。青酸カリや青酸ナトリウムなどの青酸化合物が胃の中に入りますとアーモンドの匂いを持っているシアン化水素を発生しますから、青酸化合物の服毒の簡便な調べ方になります。著者も学生時代にシアン化水素を扱う機会があり、恐る恐るアーモンドの匂いを嗅いでみましたが、残念ながら確認することができませんでした。喫煙中にはそのアーモンドの匂いが強く感じられると文献に記してありましたので、その方法も試してみましたがそれでも確認することができませんでしたから、この方法はドラマの上だけの方法なのかもしれません。

SO₂ と総称される二酸化硫黄（亜硫酸ガス）と三酸化硫黄（無水硫酸）の2種類の硫黄酸化物は咳き込んで窒息させるような強い刺激臭のある腐食性の気体です。SO₂ は水に非常によく溶けてそれぞれ亜硫酸と硫酸になりますから、その強い酸性により生体組織を破壊するためほとんど全ての生物にとって強い毒性を示します。人間では結膜炎を引き起こしたり、上気道を冒すために咳や呼吸困難、胸痛などの症状を引き起こしますし、慢性中毒になると気道狭窄による喘息のような症状が生じ、高濃度の吸収では肺浮腫、声門浮腫のために死亡することもあります。1950年代に大分、岡山、千葉など多くの臨海地帯に石油コンビナートが建設されましたが、三重県の四日市市にも三菱モンサントが中心になって大きな石油コンビナートが建設されました。石油コンビナートでは原油に約2%含まれる多量の硫黄分が燃焼され二酸化硫黄として大気中に排出されていましてから、1959年ごろから、工場群に近い四日市市では大気中の二酸化硫黄の濃度がかなり高くなり、喘息に罹る四日市市の住民が急増しましたので、四日市喘息と呼ばれ、大きな公害問題にまで発展してゆきました。その後、嗅覚の限界濃度に近い1時間の平均値が0.1ppm以下、1日の平均値が0.04ppm以下になるように大気汚染に係る環境基準値が規定されました。

直鎖上の構造を持つ飽和炭化水素の気体は何れも顕著な匂いをほとんど持っていませんが、これらの飽和炭化水素の中で炭素数の小さなメタンとエタンとプロパンとブタンは室温では気体の状態で存在しますから、都市ガスや家庭用の燃料用ガスとして用いられています。これらの気体状の飽和炭化水素は非常に引火しやすく、漏れ出ますと爆発や火災の危険を持っていますが、無色無臭ですから視覚や嗅覚で危険を察知することができません。そのため極めて強い臭いを持つブタンチオールや硫化ジメチルを加えてガス臭い匂いを人為的に着けて危険を知らせるようにしていましたが、ガスの燃焼に伴いこれらの付臭剤は有害な硫黄酸化物を発生します。二重結合を持つ炭化水素は強い匂いを持っていますから、2009年以降東京ガスは硫化ジメチルに代えて不飽和炭化水素のシクロヘキセンを付臭剤として用いて硫黄酸化物の発生を抑えるようにしました。さらに、炭素数の大きな飽和炭化水素は室温では可燃性の液体ですから、ガソリンや軽油や灯油や重油としてそれぞれの用途に利用されています。これらの炭素数の大きな飽和炭化水素もほとんど無色無臭で、燃料用ガスほどではありませんが非常に引火しやすく、漏れ出ますと爆発や火災の

危険を持っています。そのため、付臭剤として不飽和炭化水素が混ざるように配合して危険を察知し易いように油臭くしています。

常時呼吸するたびに嗅覚に接触する酸素も窒素も二酸化炭素も無味無臭ですから、人間は呼吸することさえ忘れてしまうほどに全く匂いを感じずに済みます。これに対して人体に直接毒性を示すシアン化水素、塩化水素、アンモニア、硫化水素、二酸化硫黄、三酸化硫黄はいずれも特有の匂いを持っていますから、嗅覚によりそれらの毒ガスから身を守ることができます。一酸化炭素は極めて強い毒性を示すにもかかわらず無色無臭ですから、極めて危険な気体と考えられます。このように嗅覚は人間の生活に対する危険や害毒を予知する万能の五感ではありません。直接毒性を示さないながら窒息や火災などの危険のある、気体状の飽和炭化水素には付臭剤などの添加により間接的に嗅覚により身を守る配慮がなされています。

食べ物の腐敗臭

生物の生命維持活動が化学反応でなされていることから、活力となるエネルギーは化学反応で供給されていると思われます。生物は構成する物質が化学的に変化し、そのとき副生する熱エネルギーや運動エネルギーを利用して全ての生命活動を維持しているものと考えられます。人間は草食系でも肉食系でもなく雑食動物ですから、種々の食物を食べて生命の維持をするための活力となる栄養にしています。人間をはじめ全ての生物の細胞は全重量の70%が主成分の水、15%が蛋白質、残り15%がリン脂質やDNAやRNAなどの約2000種類の化合物でできています。これらの蛋白質やリン脂質も、食物中の蛋白質や脂肪を体の中で加水分解や縮合反応などの化学反応により必要な形に組み替えられて人間の身体に作り上げられています。そのため人間は、活力の素になるでんぷんや糖類のほかに、身体を構成する物質の素材となる蛋白質や脂質を食べ物から摂取しています。

このような身体の活力や構成素材となる物質の不足を補うように味覚や嗅覚や視覚が刺激して、本能的に食欲を促しています。身体から塩分が不足すると塩っぱいものが美味しくなりますし、長時間の運動や重労働で身体の各部の活力が不足するときには、ブドウ糖を必要としますから、甘いものを食べたくくなります。肉や魚に含まれるアミノ酸は旨味成分として味覚を刺激し、蛋白質を食べたくるように食欲を促します。逆に、人間の味覚や嗅覚や視覚により、危害を与えたり毒性を示したりする物質を身体に取り込まないような本能的な自己防衛の能力も備えています。

種々の微生物も構成する物質が化学的に変化し、そのとき副生する熱エネルギーや運動エネルギーを利用して全ての生命活動を維持しています。お酒やお酢を醸造するときに活躍する麹菌や酵母は、穀物のでんぷんや果物の糖類を二酸化炭素へ分解するときに発生するエネルギーを利用して生きています。全ての生物が還元状態の物質を空気中で酸化して、そのとき発生するエネルギーを活力にして生命維持をしています。植物は光合成でブドウ糖を生産していますから、当然そのブドウ糖を基本としたでんぷんや糖類などの炭水化物

を分解して生命の維持をしています。植物を栄養源とする大部分の微生物や動物もその生産したでんぷんや糖類を分解して生活しています。しかし、アルコール類までの分解が得意な微生物や、アルコール類の酸化を得意とする微生物など得意とする化学反応は微生物の種類により異なります。酵母は生命活動を維持するための化学反応として糖類からエタノールを生産していますが、種々の微生物の中には、糖類やでんぷんを分解して酢酸や乳酸やブタン酸などの酸性の物質を生産して、食べ物の酸味を強くすると同時に酢酸やブタン酸などの脂肪酸の匂いを発して食べ物を腐敗させる腐敗菌もいます。このような酸性物質を生産する腐敗を酸敗と呼んでいます。

脂肪酸類はギ酸、酢酸、プロピオン酸、ブタン酸、吉草酸、カプロン酸の順に炭素数が大きくなりますが、それぞれ特有の匂いを持っています。ギ酸は強い刺激臭を持っていますし、酢酸は濃い状態ではかなり強い刺激臭ですが薄くなればお酢の匂いになります。プロピオン酸の刺激臭は弱くなり、ブタン酸の臭いにはほとんど刺激性がなくなりますが、代わりにウンチ臭くなります。著者が研究でブタン酸を取り扱った日の帰り道に満員電車に乗りましたところ、周囲の乗客が妙な顔をして場所を開けてくれました。また別の機会に、満員電車の中で乗り合わせた乗客からブタン酸の独特の匂いを嗅ぎ取った時には、その人の顔をまじまじと見てしまいました。水にも油にも高い親和性を持っていますから、ブタン酸を取り扱いますとその気体が皮膚や衣服に付着してしまいます。この付着したブタン酸は徐々に気体となって極めて不愉快なウンチ臭を発散しながら空气中に拡散しますから、満員電車の乗客に不審を抱かせ敬遠されてしまいます。

蛋白質の腐敗

種々の微生物の中には、蛋白質を分解して生命活動を維持するものもありますが、その分解過程では図 3-1 に示すような脱炭酸を伴った脱アミン反応による脂肪酸への変化と、カルボン酸部分の脱炭酸によるアミン類への変化が主に起こります。脱炭酸と脱アミンによるアミノ酸から脂肪酸への変化において、微生物は炭素=窒素結合の酸化に伴う反応熱を利用して生命活動の活力にしていますが、さらに加水分解により生成するピルビン酸から脂肪酸への脱炭酸において発生する反応熱も活力として利用しています。結果として、糖

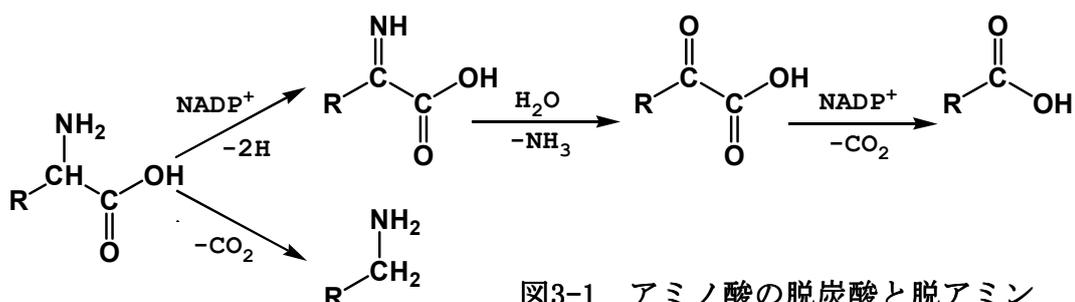


図3-1 アミノ酸の脱炭酸と脱アミン

類やでんぷんの酸敗と同じように、蛋白質の脱アミン反応でも酢酸や乳酸やブタン酸などの酸性の物質を生産して、食べ物の酸味を強くすると同時に酢酸やブタン酸などの脂肪酸の匂いを発して腐敗します。特に、牛乳に含まれる蛋白質が腐敗するときには、極めて強い腐敗臭を伴ってブタン酸を多く生成しますから、このブタン酸をバターの酸という意味で酪酸（英語では *Butyric Acid*、ドイツ語では *Buttersäure*）と呼んでいました。

蛋白質を微生物が脱炭酸を伴って分解するときには図 3-2 に示すようにカルボン酸の部分が一酸化炭素として脱離して対応するアミン類に変化します。グリシンやアラニンを含む蛋白質が微生物により腐敗するときには、メチルアミンやエチルアミンが生成してきます。これらの分子量の小さなアミン類は揮発性が高いために、アンモニアに似た独特の腐敗臭を発します。蛋白質に含まれるフェニルアラニンやロイシンなどのアミノ酸が分解するときには、フェネチルアミンやイソブチルアミンを生成しますが、揮発性が低いために食物の中に残り苦味を感じさせます。蛋白質に少量含まれるヒスチジンも腐敗して二酸化炭素を脱離してヒスタミンを生産しますが、このヒスタミンは強力な血管拡張作用を示し、体内に過剰になったときには毒性を示しアレルギー症状を引き起こします。

蛋白質やでんぷんが腐敗するときには、種々のアミンやカルボン酸が生成してきますから、腐敗臭を発生すると共に食物の味はしばしば酸っぱくなったり苦くなったりしますが、同時にヒスタミンのような種々の毒性の物質を生産することがあります。そのために、酸味と苦味を不快な味と感じ、分子量の小さなアミン類を腐敗した危険な匂いと感じて人間は本能的に自己防衛をしてきました。しかし、豆腐を作るときに用いられるマグネシウム化合物も、毒性を示す多くのアルカロイド化合物も苦味を示すことから分かるように、苦味を感じさせる味覚物質は多種多様であり統一的に毒性と結び付けて考えることが出来ません。苦味を感じさせる

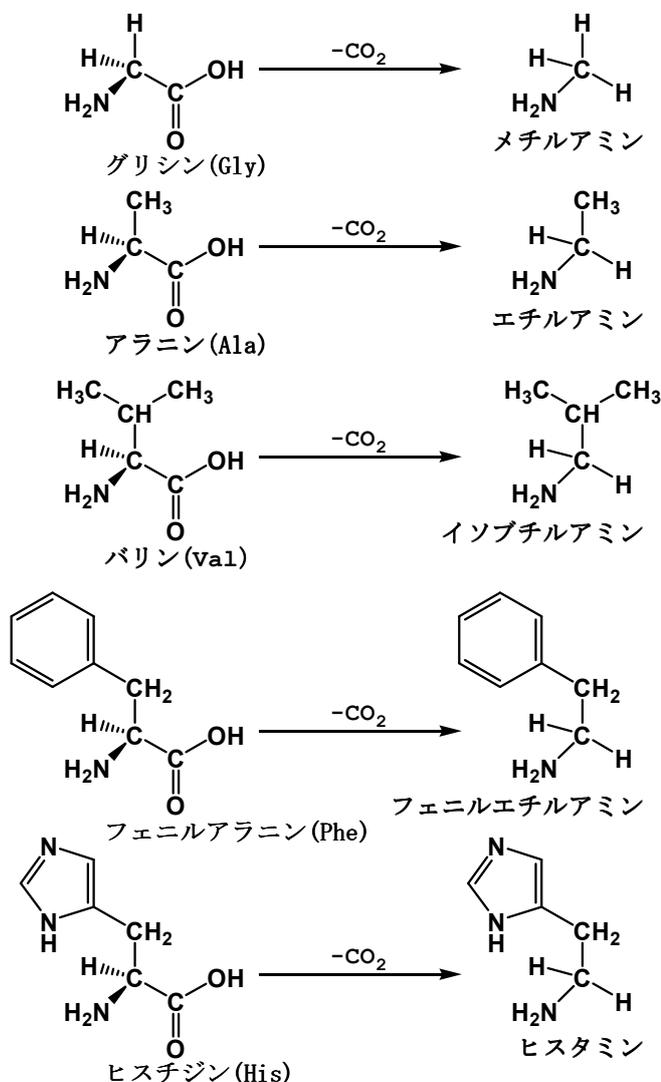


図3-2 アミノ酸の腐敗反応

物質にも毒性を示さない物質が多く知られていますし、酸味や苦味を示さない毒性物質も沢山あります。同じように、ヒスタミンのように特異な毒性を示すアミン類もありますが、多くのアミン類はほとんど毒性を示しません。

動物的な本能により、味覚の未発達な子供たちはあまり強い酸味と苦味を好みませんから、母親の乳首にキニーネなどの苦味物質を塗って母乳で育った乳児の乳離れを早めることがしばしばあります。成人して味覚が発達するほど酸味や苦味を好むようになり、夏の夕暮れには限りなくビールを飲みたくなります。蛋白質の強い腐敗臭を発するクサヤの干物や、熟成が進んだ青かびいっぱいブルーチーズは珍味として珍重されています。

世界一臭い物質に認定されたエタンチオール

蛋白質を構成する主なアミノ酸は 22 種類ですが、その中でメチオニンとシステインとシスチンの 3 種類のアミノ酸が図 3-3 に示すように硫黄原子を含んでいます。生物の体内では硫黄原子と酸素原子が置き換わる硫黄-酸素交換反応により、セリンとホモセリンからシステインとメチオニンがそれぞれ生合成されると考えられています。さらに、水素-硫黄結合を持つチオール類は空気や種々の金属酸化物などの酸化剤により硫黄-硫黄結合を容易に形成して 2 量化しますから、システインは近くに存在する別のシステインと反応して容易に硫黄-硫黄結合を形成し、システインが 2 分子結合して 2 量化したシスチンが生合成されます。

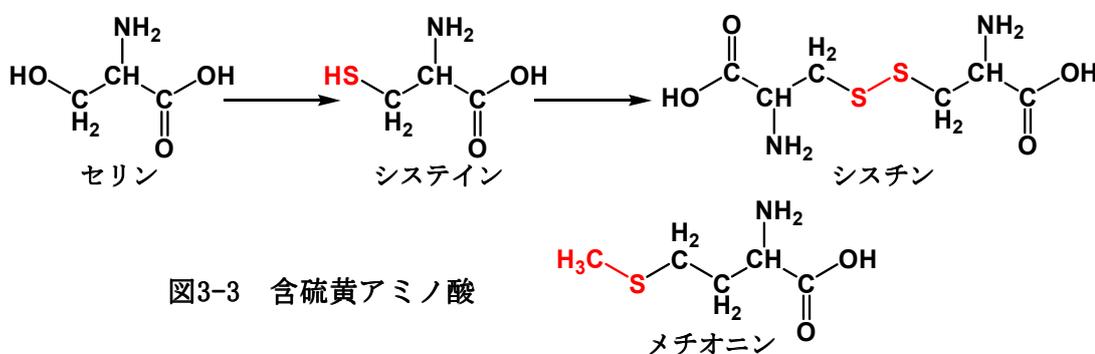


図3-3 含硫黄アミノ酸

ケラチンと呼ばれる皮膚や毛髪や羊毛や羽毛などの蛋白質のほかに、牛乳や卵や大豆の蛋白質を構成するアミノ酸の成分を表 3-1 に掲げておきましたが、ほかの通常の蛋白質に比べてケラチン類は極端にシスチンの割合が高くなっています。多くの羊毛ケラチンがロープやワイヤーのように二重三重に撻りをかけられて羊毛の繊維になっていますが、その羊毛ケラチンにはシスチンの前駆体となるシステインが含まれていて、シスチンに酸化されるときに硫黄-硫黄結合を形成して羊毛ケラチンの鎖が架橋されます。この硫黄-硫黄結合による架橋は糸を撻るように絡まっている羊毛ケラチンの繊維をさらに強く絡ませて解けなくしています。豚毛や毛髪のように比較的硬い繊維ではシスチンの成分比が高く、硫黄-硫黄結合による架橋が多く、ケラチンが強く絡まっています。同じケラチンの構造

を持っていても皮膚のケラチンはシスチンの割合が低く柔軟な性質を示しています。爪や蹄はさらに多くのシスチンを含むケラチンですから、硫黄－硫黄結合により強く架橋されており極めて硬い性質を示しています。

表 3-1 ケラチンのアミノ酸組成

アミノ酸	羊毛 ケラチン	毛髪 ケラチン	皮膚 ケラチン	豚毛 ケラチン	羽毛 ケラチン	牛乳 カゼイン	卵 アルブミン	大豆 蛋白質
グリシン	9.8	9.5	5.8	0.0	0.0	3.2	4.9	4.0
アラニン	5.2	4.0	9.1	0.0	0.0	4.3	9.0	4.0
バリン	4.5	4.7	6.7	6.3	10.5	7.4	7.2	4.8
ロイシン	9.7	9.1	9.1	8.0	9.0	14.0	8.3	7.8
イソロイシン	0.0	2.2	1.9	4.5	6.8		6.5	4.8
プロリン	9.3	3.7	6.7	10.5	11.3	11.1	3.6	5.4
フェニルアラニン	2.5	2.7	1.4	2.1	4.6	3.6	5.4	5.3
チロシン	2.9	3.1	2.6	2.4	1.8	4.2	2.3	3.7
トリプトファン	1.0	0.7	1.4	0.0	0.0	0.7	0.8	1.3
セリン	10.8	7.6	11.4	9.1	14.4	7.2	9.3	5.0
スレオニン	6.1	7.2	5.9	6.7	5.5	4.9	4.1	3.5
シスチン	11.1	16.0	8.9	15.0	10.0	0.3	1.8	1.3
メチオニン	0.5	1.0	1.6	0.4	0.5	2.3	4.1	1.2
アルギニン	6.7	9.6	2.9	7.9	6.4	2.8	3.9	7.7
ヒスチジン	0.8	0.9	2.2	0.9	0.4	2.4	1.8	2.7
リジン	2.1	2.8	6.4	3.3	1.3	6.7	5.2	6.1
アスパラギン酸	6.1	8.0	4.2	7.6	7.8	6.4	8.3	11.5
グルタミン酸	10.8	14.8	11.6	15.3	9.8	18.3	13.4	19.2

硫黄－硫黄結合は還元することにより、容易に水素－硫黄結合を持つ2つの分子に分解することが出来ますから、ケラチンを架橋しているシスチンもシステインに還元すれば繊維を纏めている絡みが弱くなります。毛髪を図 3-4 に示すようにチオグリコール酸ナトリウムなどで還元しますと、毛髪ケラチンに含まれているシスチンが還元されてシステインに変化しますから、架橋が切れてケラチンに多くの水素－硫黄結合を持つ側鎖が生成します。このように還元された状態の毛髪をカーラーなどに巻きつけて形を整えた後に、過酸化水素あるいは臭素酸ナトリウムの水溶液で酸化しますと、変形したままで近くにある別のシステインが硫黄－硫黄結合してシスチンとなり、新たに架橋されて強い絡みを持つ毛髪に再現されます。これが美容室で行われているパーマネントの化学変化です。

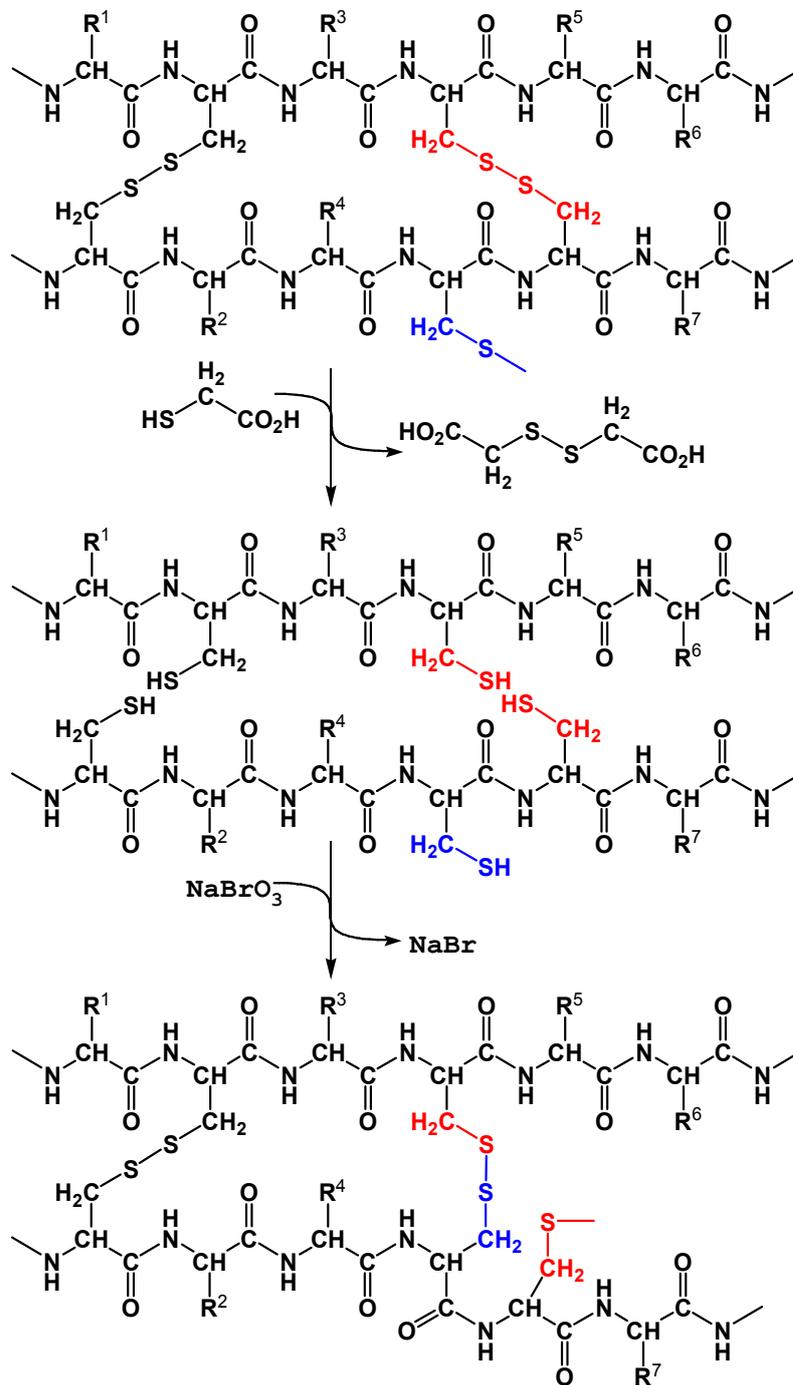


図3-4 パーマネントの化学反応

ここで用いられているチオグリコール酸ナトリウムは酸性ではチオグリコール酸を遊離し、極めて強い不快臭を發します。この耐え難いような臭みに堪えて、女性は若さと美しさを保つために努力をしているようで、日ごろから臭い匂いの薬品類を扱って研究する化学者でさえも敬服するばかりです。羊毛あるいは毛織物に同じような還元・酸化処理を

行えば、パーマネントプレスとしてズボンに折り目を付けたり、プリーツスカートの襞を整えることができます。蛇足ながら、化学薬品の性質を示す本にはチオグリコール酸カルシウムに脱毛剤として作用するという記載があります。

前節で示したようにアミノ酸を食べて脱アミンし、脂肪酸を排泄しながら微生物は生命活動を維持しています。蛋白質に含まれるシステインやシスチンが微生物により腐敗しますと脱アミン反応により、それぞれチオグリコール酸とその 2 量体を生成します。これらの腐敗生成物はパーマネントの折に用いる臭い薬品ですから強い腐敗臭になります。また、生物の体内では硫黄原子と酸素原子が置き換わる硫黄-酸素交換反応により、セリンからシステインが生合成され、さらにシステインからメチオニンとシスチンが生合成されていますが、蛋白質が腐敗するときにもこのように硫黄-酸素交換反応は微生物でも容易に行いますから、システインとシスチンからは硫化水素が発生し、メチオニンからはメタンチオールが発生します。

分子量が比較的小さく、蒸気圧の高い硫黄化合物はいずれも非常に強烈に臭い匂いを持っています。例えば、硫化水素はゆで卵の匂いですし、ブタンチオールや硫化ジメチルは極めて強い臭いを持つために都市ガスに加えてガス臭い匂いを人為的に付けて爆発や火災の危険を知らせる付臭剤として用いられています。著者の在籍していた大学には硫黄を含む化合物を主に研究する大饗教授と古川教授の研究室がありましたが、両研究室の中は種々の硫黄化合物の強烈な臭みで常におおわれていましたし、時折その臭い匂いは換気口から著者の研究室にまで流れてきました。中でもチオフェノールは比較的分子量が大きいために、一度空気中に拡散しますと皮膚や衣類に付き非常に揮発し難いためにしつこく匂いが残ります。因みに、「これまでに分類されている 17000 種類の臭いの中で、エチルメルカプタン (エタンチオール) は最も悪臭の強い部類に入る。腐ったキャベツ、にんにく、玉ねぎ、焦げたパン、下水の臭いの混ざったような臭いがする。」という記述で世界一臭い物質としてエタンチオールがギネスブックに認定されています。

花や果物の匂い

穏やかな陽気の際に植物は花を開き、受粉をして子孫を残すための種を付けます。小鳥や昆虫の援けを借りた効率的な受粉のために、花は昆虫や小鳥の集まってくるような好みの甘い蜜と芳しい香りを用意しています。稔った種や果実も昆虫や小鳥や動物が口にして運んでくれば、植物の生活圏が拡大して繁殖します。そのため種も果実も種々の動物が好むような香りを持っています。反対に、小鳥や虫から種や果実を守るために臭い匂いを持った植物もあります。

風に乗ってゆくばかりでなく動物に運んでもらい、キノコは孢子が移動して生活圏の拡大をしています。松茸やトリフのように強い香りのキノコがたくさん知られていますが、図 3-5 に示すリコボウ（ハナイグチ）と呼ばれるキノコは味も香りもよいので、秋のキノコ狩りに著者が目を付ける狙い目のキノコです。しかし、この種のキノコの香りは小さな昆虫の好物でもあるよ



図3-5 秋の狙い目の茸リコボウ

うで、キノコが地表に現れて数時間後には素早い虫が傘の裏に取り付いて食べ始めています。虫にとっては味も香りも好ましく卵を産み付けるために適しているようですが、虫の移動により孢子が移動しますからキノコにとっても生活圏の拡大の役に立つようです。

春から秋の穏やかな気温でも十分に気体となって空気中に拡散しなければ、花も果実もキノコも皆その匂いを有効に小鳥や虫に伝えることができません。このように花や果実や香草やキノコに含まれる匂いの成分物質は比較的に揮発性が高く、化学構造的な特徴を持つ 2 種の物質群に大別されます。一方の物質群は酢酸やブタン酸などの炭素数の小さな脂

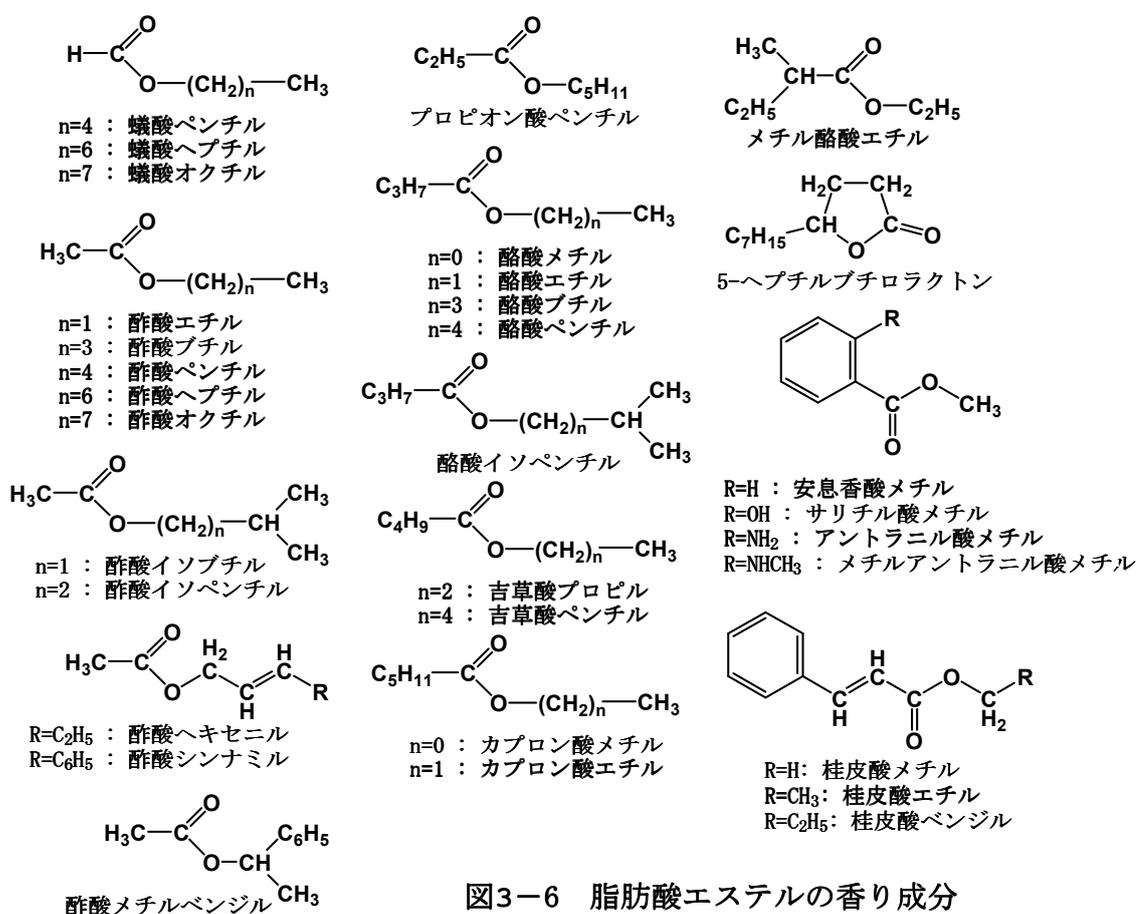


図3-6 脂肪酸エステル香り成分

脂肪酸類と種々のアルコール類が結合して生成する脂肪酸エステル類で、他方のモノテルペン類と呼ばれる物質群には一定の間隔で側鎖にメチル基を持つ炭素数 10 のアルコール類やアルデヒド類が多く含まれています。南国の果物ばかりでなく桃やサクランボやりんごや梅などの果実も熟しますと馥郁とした脂肪酸エステルの香りを発散します。梅干しを仕込むつもりで調達した梅の実を熟れるまで室内に放置して置きましたところ、多くの小さなショウジョウバエが集まってきました。この様子を見ていて、酢酸エチルなどの脂肪酸エステルをフラスコに入れて実験室に放置しておきますと翌朝には数匹のショウジョウバエがフラスコに入って自殺していたことを思い出しました。

これらのうちで、脂肪酸エステル類の原料となるアルコール類は比較的穏やかな刺激臭を持っています。特にエタノールは日常生活に密着したお酒の成分ですから、お酒の好きな人にとっては最も好ましい香りでアルコール臭と表現しています。メタノールも同じようなアルコール臭を持っていますが、分子量が小さいためにその強さがエタノールよりも強くツンとする刺激的な感じを与えます。逆にプロパノールやブタノールなどのアルコール類は炭素数の大きさが増すとともにアルコール臭が弱くなってきます。

アルコール類の相手となる脂肪酸類はギ酸、酢酸、プロピオン酸、ブタン酸、吉草酸、カプロン酸の順に炭素数が大きくなりますが、それぞれ特有の匂いを持っています。この極めて特異な臭いを持つ脂肪酸類とアルコール臭を持つアルコール類が結びついて生成する脂肪酸エステル類は果物の甘い香りを構成しています。例えば、苺やオレンジやブドウの香りの中に含まれる酢酸エチルは酢酸とエタノールが結ばれた物質ですし、満員電車の乗客を敬遠させるブタン酸とお酒の成分のエタノールが結びついたブタン酸エチルはキウイやパイナップルやドリアンなどの南国の果物の中に含まれて甘い香りを醸し出しています。炭素数や結合様式の違いにより多くの脂肪酸類とアルコール類がありますから、それらの脂肪酸類とアルコール類からなる脂肪酸エステル類の種類も非常に多く存在します。それらの多くの脂肪酸エステル類の中で、種々の果物の香りの成分物質として含まれている脂肪酸エステル類の化学構造を図 3-6 にまとめて示しておきます。

脂肪酸の原料はブドウ糖

人間の脂肪のほかに日常生活に関連する各種の油脂の性質と構成する脂肪酸の重量%を表 3-2 にまとめました。表から明らかなように、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。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、この表に挙げた脂肪酸以外の脂肪酸は油脂の中にほとんど含まれていないと考えてよいでしょう。つまり、ここに示されている分析結果は全体を反映していると考えてよいこととなりますが、この分析結果を良くみますと不思議なことが見えてきます。ほんのわずかな例外を除いて、油脂を構成している脂肪酸は全て偶数の炭素数を持つ脂肪酸であることが分かります。地球上で気体として存在する代表的な物質 575 種の性質とその物質を含む花や果物や

香草を別表にまとめましたが、その表に掲げた物質の中で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エステルを除けば、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。

表 3-2 種々の油脂の性質と脂肪酸の割合

油脂名	融点	ヨウ素価	けん化価	飽和脂肪酸	不飽和脂肪酸	脂肪酸（重量%）									
						C ₆	C ₈	C ₁₀	C ₁₂	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₈	C ₂₀	C ₂₂
バター	32.2	36.1	227.0	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	67.6	196.2	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	58.6	194.6	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		49.5	197.0	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	40.0	194.0	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		120.0	195.0	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		165.0	186.0	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		140.0	192.0	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		185.0	191.0	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	85.5	180.3	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	36.5	193.8	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	10.4	268.0	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	122.6	192.0	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	105.7	194.3	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	178.7	190.3	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		102.0	174.0	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	81.1	189.7	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	54.2	199.1	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	93.4	192.1	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		145.0	192.0	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	106.6	187.9	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	130.0	190.6	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	125.5	188.7	8.7	91.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	93.5	0.9	0.0

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 3-7 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、この過程で 2 分子の ADP とりん酸から 2 分子の ATP が生成します。同時に 2 分子の NADP^+ が NADPH まで還元されます。酸化剤の NADP^+ が十分に供給される場合には、ピルビン酸は図 3-8 に示すような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

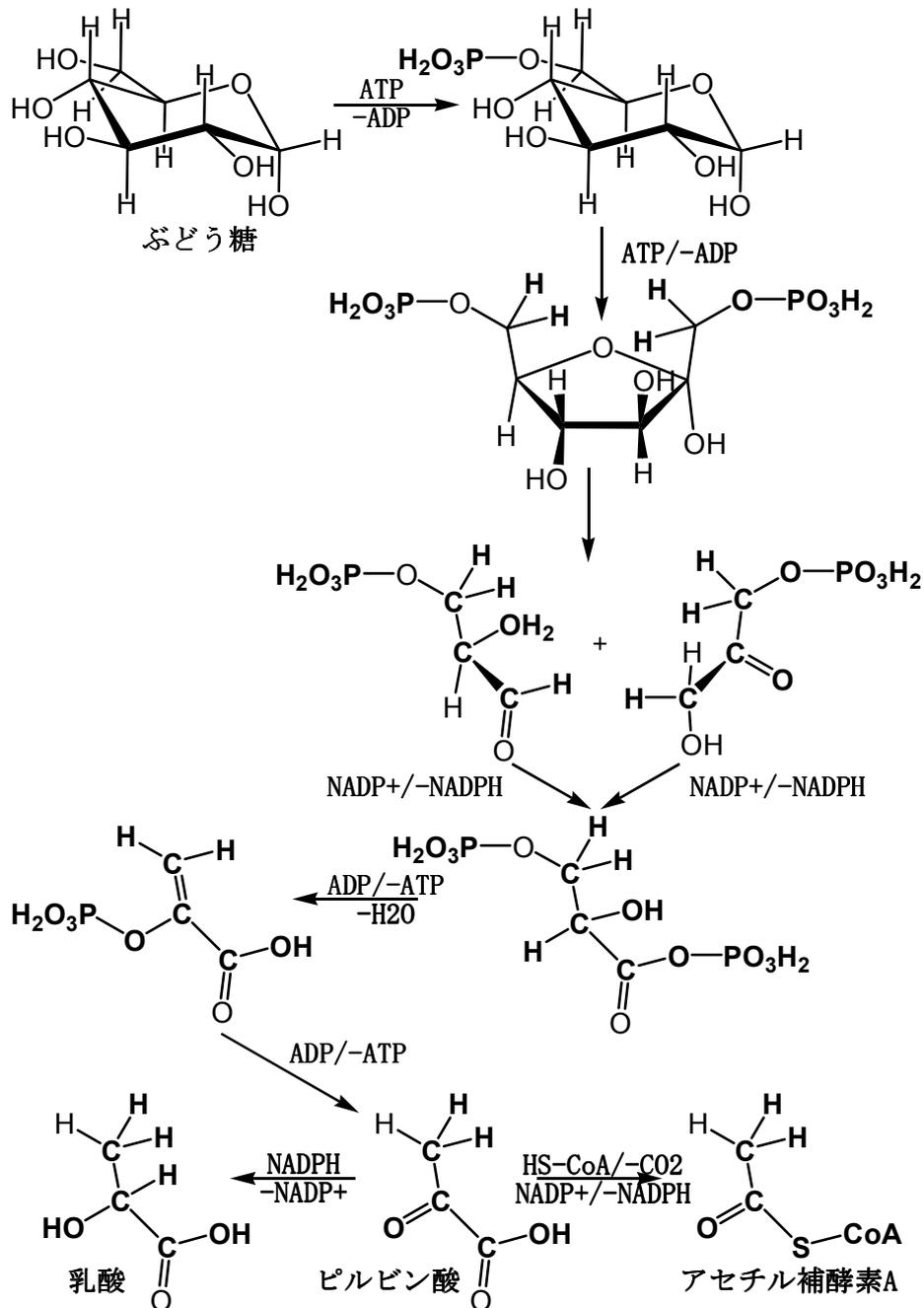


図3-7 解糖反応の機構

ル補酵素 A ($\text{CH}_3\text{CO-S-CoA}$) に変換されます。ピルビン酸が二酸化炭素を失ってアセチル補酵素 A に変化する反応においても NADP^+ とりん酸からの NADPH が 1 モル作られます。

ピルビン酸は酸素など酸化剤の供給のない還元状態では、酸化剤の NADP^+ が十分に供給できないために、ピルビン酸から二酸化炭素を脱離してアセチル補酵素 A に変化する反応が進行せず、 NADPH により炭素=酸素二重結合が還元されて乳酸に変化します。急激な運動などで十分な酸素の供給がないまま ATP を必要とする場合には、酸化剤の NADP^+ が十分に供給できませんから、ブドウ糖が消費されて生成するピルビン酸は還元され、筋肉

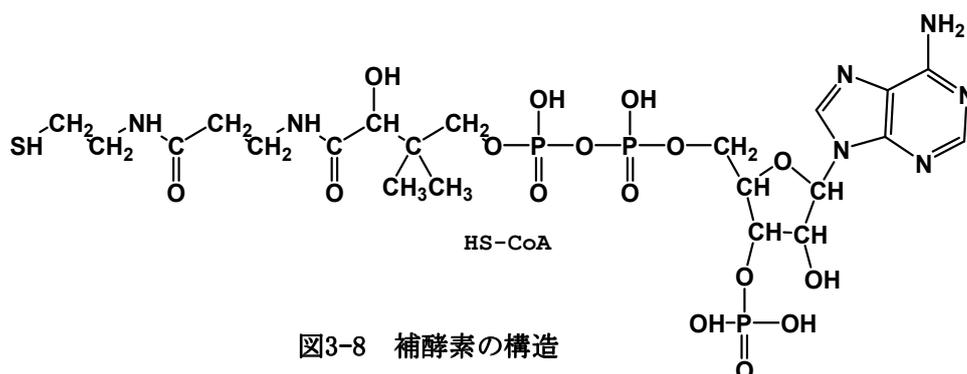


図3-8 補酵素の構造

の中に乳酸が溜まり、そのため筋肉は疲労します。

水素を持った炭素が隣接して結合する炭素=酸素二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) は二酸化炭

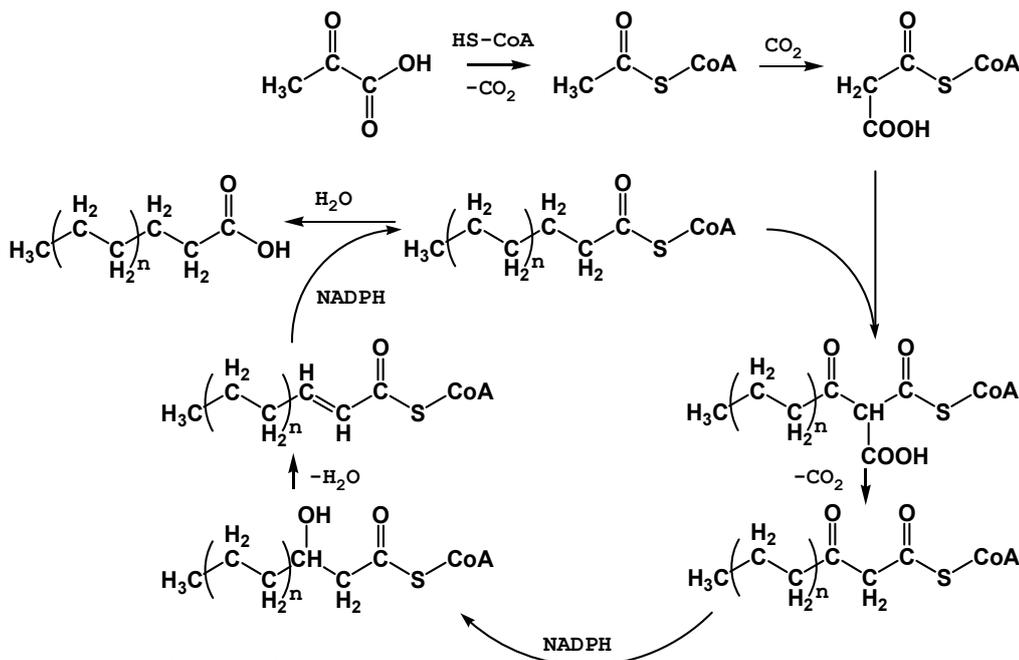


図3-9 脂肪酸の生合成経路

素までも取り込んで触媒とし、反応活性を向上させて生物体内では酢酸の 2 量化が進行しています。酢酸の 2 量化したアセトアセチル補酵素 A にはチオエステルのほかにケトンの炭素=酸素二重結合がありますが、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=炭素二重結合に変換されてゆきます。この炭素=炭素二重結合も再び 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。図 3-9 に示すようにこの一連の反応が繰り返し生物体内で進行して偶数の炭素数を持つ脂肪酸が生合成されています。

植物の身を守る香草の香り

花や果物には蟻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、果物特有の甘い香りとなっていますが、このほかに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多く含まれています。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、微生物を消毒する働きを持つものなどがあります。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ですが、 α -ピネン、 β -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 3-3 にまとめました。

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齎しています。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。

この表 3-3 から分かるように、果物の香り成分と同じ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。他に赤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色の文字で示すように含まれています。しかし、果物の香り成分と異なりほとんど脂肪酸のエステルを含んでいませんから、比較的スーッとした香りが強く感じられます。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が、その中で図 3-10 に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

表 3-3 香草と薬草の成分と薬効

和名	植物分類	部位	薬効	薬効成分
アニス	セリ科	種子	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	フトモモ科	果実、葉	消化剤、殺菌作用	オイゲノール、シネオール、メチルオイゲノール、フェランドレン、カリオフィレン
オレガノ	シソ科	葉	鎮静、健胃整腸、リウマチ、神経痛	カルバクロール、チモール
からし	アブラナ科	種子	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	ニクズク科	種子	収斂、止瀉、健胃	ミリスチシン
カルダモン	ショウガ科	種子	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
キャラウェイ	セリ科	種子	抗ダニ剤	カルボン、リモネン
クミン	セリ科	種子	胃健薬	クミナル、シンナムアルデヒド、シメン、ピネン、リモネン
クローブ	フトモモ科	花蕾	芳香健胃	オイゲノール、メチルオイゲノール
月桂樹の葉	クスノキ科	葉	抗リウマチ、抗腫瘍、皮膚病	オイゲノール、メチルカルビコール、ゲラニール、ネラール、フェランドレン
胡椒	コショウ科	種子	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	セリ科	葉、種子	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、デカナール
サフラン	アヤメ科	花	鎮静鎮痛、通経	サフラナル
山椒	ミカン科	種子	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	ミカン科	種子	健胃、鎮痛、駆虫	ゲラニオール、リモネン、クミナルアルコール、シトロネラール
紫蘇	シソ科	葉、種子	抗アレルギー剤	ペリラルデヒド、ロズマリン酸
シナモン	クスノキ科	樹皮	発汗作用、発散作用、健胃作用	シンナムアルデヒド、オイゲノール、サフロール、酢酸シンナミル
生姜	ショウガ科	根	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	ショウガ科	根	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	シキミ科	種子	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	セリ科	種子	芳香健胃	アネトール
セージ	しそ科	葉	抗酸化作用	ツヨン、シネオール

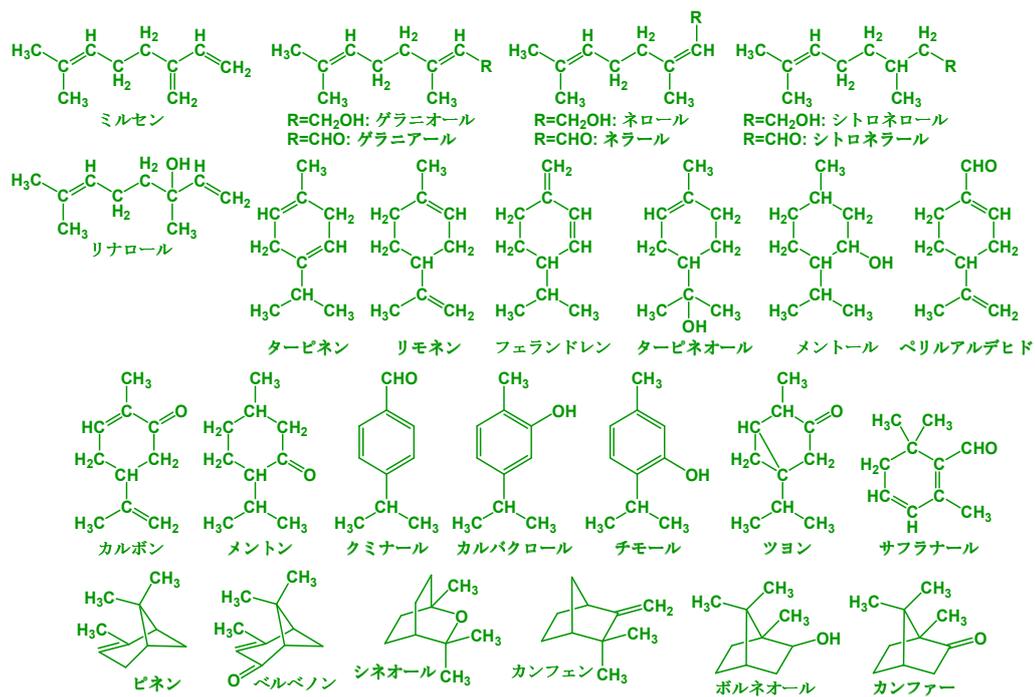


図3-10 モノテルペン類の香り成分

ペン類と芳香族化合物の香り成分をそれぞれ青色と赤色の化学構造式で図 3-11 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多くの共通する特徴を持っていますから、生体内で作られて

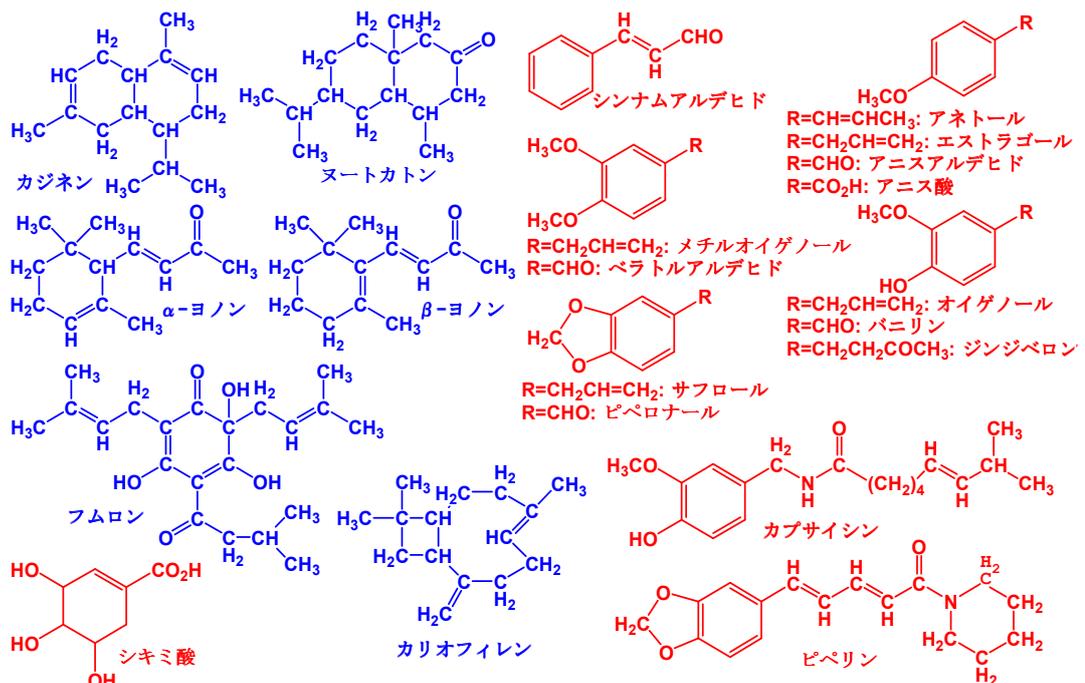


図3-11 セスキテルペン類、芳香族化合物の香り成分

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 3-12 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ります。メバロン酸になります。メバロン酸は二酸化炭素の脱離、脱水、還元、燐酸とのエステル化の過程を経て、テルペン類の基本単位となる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 原子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、脱水などの化学変化を経て、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 原子の炭素鎖を挿んで側鎖にメチル基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テルペンで、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意味で、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

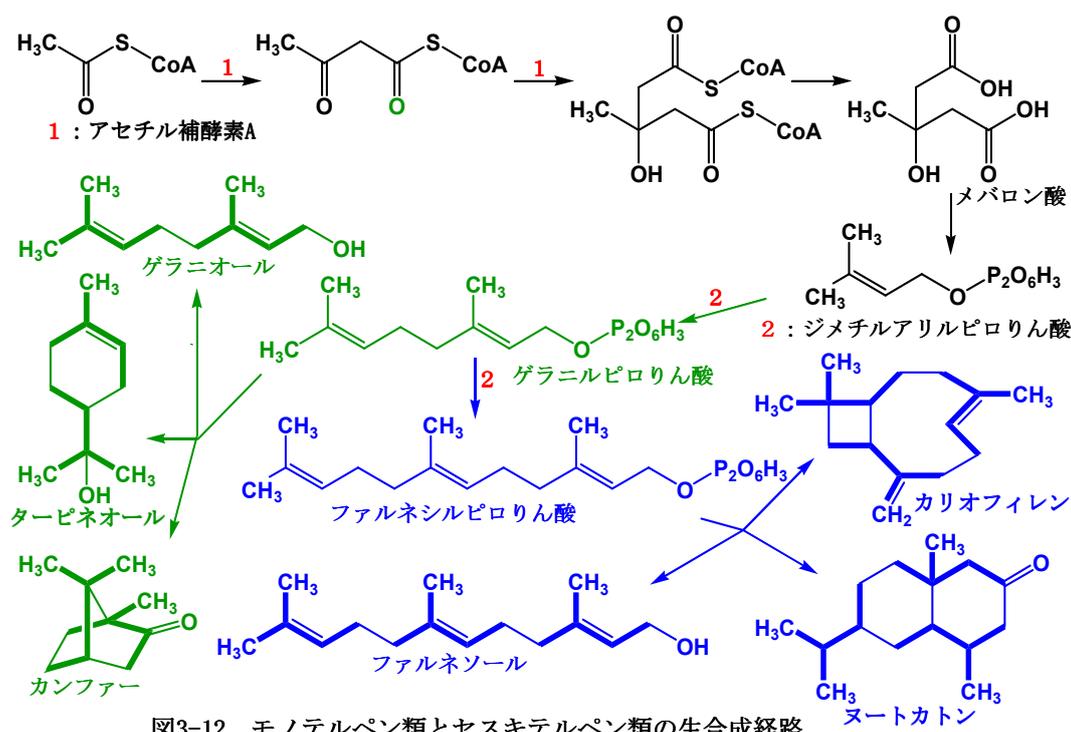


図3-12 モノテルペン類とセスキテルペン類の生合成経路

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 3-11 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、脂溶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に、図 3-11 の中で青色に示すように炭素数 15 原子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 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。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 原子の一連の化合物群と考えられます。気体状態の情報が少ないのでヘレニンとカジネンとグアイオールの 3 種しか別表には掲げてありませんが、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有りません。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。

名が体を表さない芳香族化合物

表 3-3 から分かるように、香草や薬草は果物の香り成分と同じようなモノテルペン類を多く含んでいますが、果物の香り成分と異なりほとんど脂肪酸のエステルを含んでいませんから、比較的スーッとした香りが強く感じられます。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含まれていますが、他に図 3-11 に赤色の化学構造式で掲げたように、ベンゼン環を分子の中に含む多くの物質が芳しい香りの成分として含まれています。このようにベンゼン環を含む多くの物質が芳しい香りを持っていますから、化学を研究する先人たちはベンゼン環を含む化合物を総じて芳香族化合物 (Aromatic Compounds) と呼ぶようになりました。芳香族化合物と命名されているのですから、身の回りの匂いを化学する時にはベンゼンについて考えることを避けて通るわけにはいきません。

2つの原子が接近するときには、一方の原子の原子核と他方の原子に属する電子が静電的に相互作用してクーロン力が働きますから、電子は両方の原子核に引き付けられるよう

な力を受けます。しかし原子同士の間でも電子は極めて高速で運動していますから、原子の相互作用も量子力学で考えなければなりません。原子の最外殻電子を含む軌道が互いに相互作用をしますと、原子間に引力の働くエネルギー的に安定な軌道と反発力が働く不安定な軌道の2つを生じます。2つの原子がそれぞれ1個しか電子の入っていない軌道を持つときには、相互作用により生じる不安定な軌道は原子の単独の状態よりもエネルギー的に不安定な状態ですから、この軌道には電子が充足しません。原子間に同時に生ずるエネルギー的に安定な軌道に両原子に属する1個ずつの電子が移動するために、軌道の相互作用によりエネルギーの安定な状態になり原子は共有結合と呼ばれる結合を形成します。

共有結合にはそれぞれの原子の最外殻の軌道のうちの1個ずつが相互作用する単結合、

2個ずつの軌道が相互作用する二重結合、3個ずつが相互作用する三重結合の3種類があります。単結合では図3-13(A)のように結合軸の上で相互作用して σ 結合と呼ばれる結合を形成します。二重結合では1個ずつの軌道が結合軸上で相互作用する σ 結合

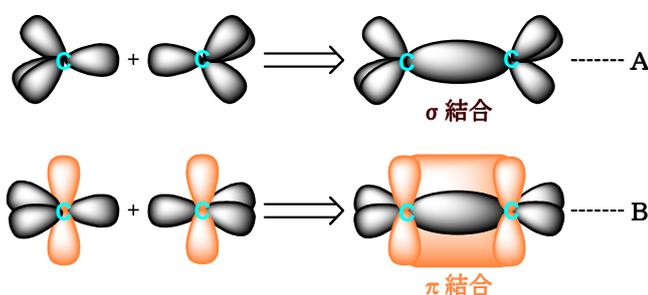


図3-13 C-C単結合とC=C二重結合

を作っていますが、残りの1個ずつの軌道は軸上ではなく直交軸上に存在します。この直交軸上の軌道は図3-13(B)の褐色に示すように側面で相互作用して結合を形成しますので、これを σ 結合と区別する意味で π 結合と呼んでいます。三重結合は3個ずつの軌道のうち、1個ずつの軌道の結合軸上で相互作用する σ 結合と残りの2個ずつの軌道で作られる2本の π 結合からできています。二重結合に関与している π 結合が関与しなくなって単結合に変化するときは、二重結合の結合エネルギーから単結合のエネルギーに安定化エネルギーが減少します。この二重結合と単結合の結合エネルギーの差は π 結合の結合エネルギーと考えることが出来ます。炭素=炭素二重結合の平均的な結合エネルギーが146 kcal/mol、炭素-炭素単結合が平均的に83 kcal/molですから、炭素=炭素二重結合のうちで π 結合の結合エネルギーは約63 kcal/molと見積もることができ、 σ 結合の83 kcal/molよりはかなり

表3-4 共役化合物の分子構造の特徴と共鳴エネルギー

	炭素炭素結合距離		構造	共鳴エネルギー
	単結合	二重結合		
エタン	0.154 nm		正4面体構造	0 kcal/mol
エチレン		0.134 nm	平面120°	0 kcal/mol
1,3-ブタジエン	0.146 nm	0.135 nm	平面E型構造	5 kcal/mol
ベンゼン	0.139 nm		平面正6角形構造	36 kcal/mol

小さな値と考えられます。このことは多くの原子を結びつけている σ 結合に比べて、 π 結合の結合エネルギーが小さく不安定なために、二重結合は反応性が高いことを意味しています。

2 つ以上の二重結合が単結合と交互に結合することを共役と呼んでいますが、表 3-4 には標準的な単結合化合物のエタンや二重結合化合物のエチレンと比較して、共役した構造を持つ 1,3-ブタジエンの結合距離と最も安定な分子の構造を掲げておきます。この表から明らかなように、1,3-ブタジエンの 2 つの二重結合はエチレンの結合距離に比較して長く、2 つの二重結合を結び付けている単結合はエタンよりも短くなっています。一般に 2 つの原子間の結合エネルギーが大きくなるほど結合距離が短くなりますから、ブタジエンの二重結合に挟まれている単結合は若干の π 結合性を持つことにより結合エネルギーが大きくなりますが、同時に二重結合の π 結合性はエチレンに比較して約 8kcal/mol 小さくなると見積もられます。また、2 つの二重結合を単結合が結び付けていながら、1,3-ブタジエンを構成している 10 個の原子は二重結合のようにすべて同一平面上に位置する構造をしています。

1,3-ブタジエンは図 3-14 に示すように 4 個の炭素原子が σ 結合で結ばれ、それらの炭素原子には直交軸上にそれぞれ 1 個ずつの π 電子が存在しています。これらの炭素原子は σ 結合で結ばれて近接していますから、直交軸上の π 電子の側面が重なり合い 3 つの σ 結合の上に互いに相互作用する 2 つの π 結合が形作られます。ここで、4 個の炭素原子の間に π 結合が拡がり相互作用することにより、1,3-ブタジエンの場合には総結合エネルギーが 5kcal/mol ほど大きくなります。このように 2 つの隣り合った炭素=炭素二重結合の π 結合が相互作用することを共鳴といい、その共鳴により π 結合が拡がって均一化するとともに増加した結合エネルギーを共鳴エネルギーと呼んでいます。

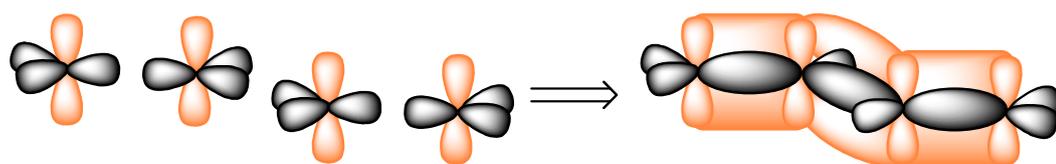


図3-14 4個の π 電子が相互作用するブタジエン

分子式が C_6H_6 のベンゼンは 19 世紀に性質が明らかになりましたが、炭素原子の原子価が 4 価であることを考えると反応性の高い多くの二重結合や三重結合を分子の中に含んでいることになりが、その反応性は極めて低く極めて安定な物質です。Kekulé は 3 本の二重結合と単結合が交互に 6 角形に結ばれ共役した構造を考えました。表 3-4 に掲げたブタジエンの共鳴エネルギーはわずかに 5 kcal/mol に過ぎませんが、6 本の σ 結合の 6 角形の構造上に 3 本の π 結合が共役したベンゼンではその共鳴エネルギーが 36 kcal/mol と見積もられ、ベンゼンが図 3-15 のように平面正 6 角形をしていることも明らかになりました。このこと

からベンゼン環は正六角形の6本の σ 結合上に3本の π 結合は拡がり、直交軸上の π 電子は自由に移動でき、大きな共鳴エネルギーを持って安定化します。そのため、結合エネルギーの小さな π 結合を多く持っているにもかかわらず、極めて反応性が低く安定な性質を

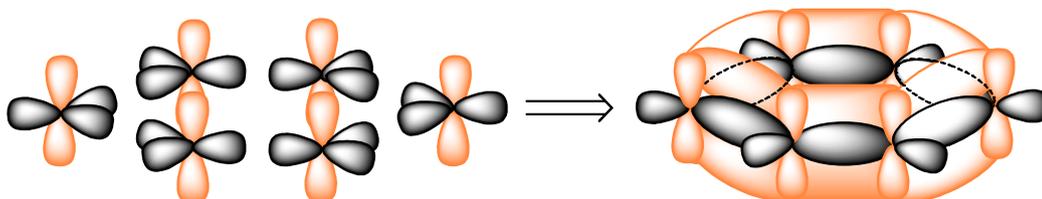


図3-15 平面正六角形のベンゼン環

示しています。

化学を研究する先人たちがこのようなベンゼン環を分子の中に含む物質に対して芳香族化合物 (Aromatic Compounds) と命名しましたが、その名の由来となった芳香を持つ主な物質を図 3-11 に赤色の化学構造式で掲げました。これらの物質の多くは、材木の成分の約 25% を占めるリグニンやお茶の味を決めるタンニンやポリフェノールなど、フェニルピルビン酸と 4-ヒドロキシフェニルピルビン酸を前駆物質として生物により生産されたリグノイドあるいはフェニルプロパノイドと呼ばれる物質群に属しています。このフェニルプロパノイドは図 3-7 に示したブドウ糖の解糖分解反応の過程で生成するピルビン酸から、植物の中で進行する反応経路で図 3-16 に示すように生産されるシキミ酸が鍵化合物になっていると考えられています。ピルビン酸とエリトロースがリン酸の働きで反応し、さら

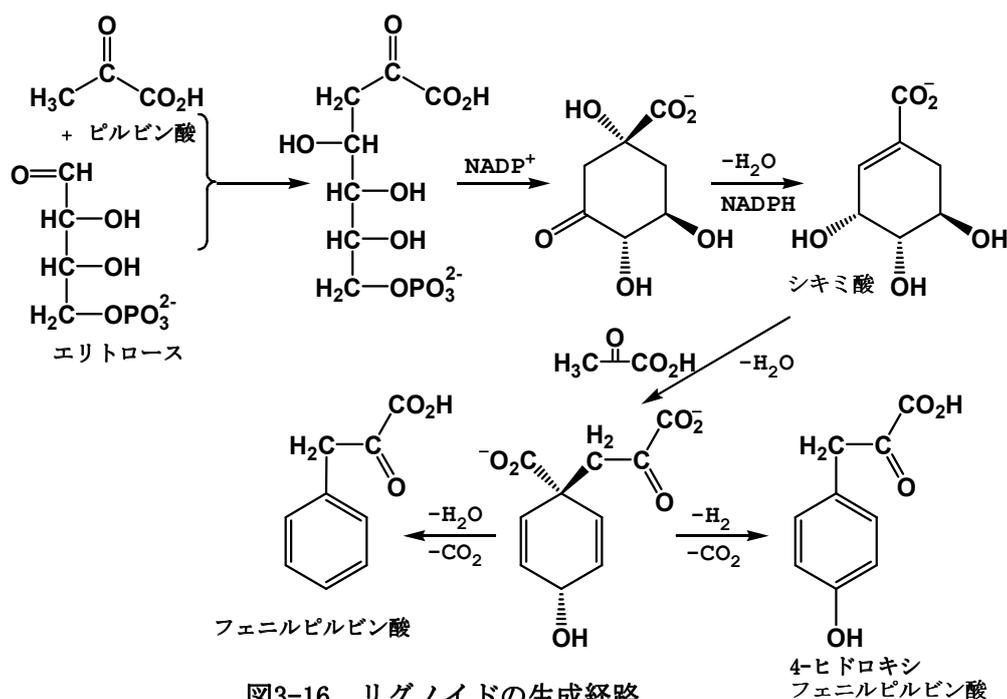


図3-16 リグノイドの生成経路

に酸化と脱水と還元反応によりシキミ酸に変化します。この鍵化合物のシキミ酸は炭素数6の環状炭化水素に3つの水酸基が結合した構造を持っていますから、脱水することにより3本の二重結合と単結合が交互に6角形に結ばれ共役したベンゼン環を容易に与えると思われまゝ。植物の中ではシキミ酸がピルビン酸と結合し、脱水と脱炭酸の反応を経て分子内にベンゼン環を有するフェニルピルビン酸を生成すると考えられています。また、脱水素酵素の働きで酸化と脱水と脱炭酸の反応を経て4-ヒドロキシフェニルピルビン酸も生成します。

この2種のフェニルピルビン酸は酵素の働きでグルタミン酸とアミン交換反応をし、生物にとって必須のアミノ酸のフェニルアラニンとチロシンにそれぞれ変化します。東洋の漢方薬や西洋の香草として広く用いられてきたシナモンやクローブやクミンやアニスなどにはシナムアルデヒドやアネトールやアニス酸やオイゲノールなどの芳香を発する物質が含まれていますが、これらも2種のフェニルピルビン酸が酵素の働きで還元や脱水やメチル化などの多くの化学変化を経て生成したものと考えられています。アイスクリームやプリン等の匂い付けに用いられているバニラの匂い成分は発酵により微生物がバニラ豆に含まれるフェニルプロパノイドを酸化分解して生成するバニリンと呼ばれる物質です。20世紀以降の化学的知見の蓄積により、ベンゼン自体はあまり強い匂いを持っていませんし、芳しい香りを持つ芳香族化合物も多く知られていますが、無臭の芳香族化合物や臭い匂いを持つ芳香族化合物も多く知られています。このように芳香族化合物という物質群と匂いとの間には直接的な相関関係は見出されていません。名が体を表すわけではないようです。

香ばしい香りは最も不愉快な匂い物質

胡麻は胡麻科の植物の種子ですから発芽に必要な糖分や蛋白質や脂質を多く含んでいます。この胡麻の脂質はオレイン酸とリノール酸のグリセリンエステルで主に構成されていますから、胡麻の種子を圧搾して絞ると室温では液状のごま油が容易に得られます。そのため日本ばかりでなく中国やインドやアフリカなど広く世界中で古くから食用油として用いられてきました。生の胡麻の種子を絞ると胡麻に含まれる糖分や蛋白質が若干混入しますから、太白油と呼ばれる香りの少ない甘味や旨味に富んだ無色のごま油が得られます。

ブドウ糖とアミノ酸を含む物質を加熱すると複雑な熱分解反応が進行して二酸化炭素を発生しながら褐色に変色してゆくとともに種々の分解物の生成することを Maillard (メイラード) が 1912 年に報告しています。油脂成分のほかに胡麻の種子の中にはブドウ糖などの糖分と蛋白質が含まれていますから、胡麻を煎ると種子の中でこのメイラード反応が進行して多少褐色に変色しながら香ばしい香りの煎り胡麻になります。胡麻を高温で長時間煎ればメイラード反応がさらに進み、濃い褐色の深煎りの煎り胡麻になりますし、低温で短時間煎った時には煎り方が浅くなります。この煎り胡麻を絞ってごま油を製造しますと、太白油に含まれている甘味や旨味の成分は減ってしましますが、代わりにメイラード反応により分解生成物として匂い成分が加わりますから香ばしい香りを持つ褐色のごま油にな

ります。当然、胡麻の煎り方によりメイラード反応の進行度合いが異なりますから、胡麻を煎ることにより生ずる匂い成分の量も変化します。深煎りした煎り胡麻を絞って得られるごま油は色が濃く香りの高いものになります。

味の素食品総合研究所中田雄二博士や九州大学農学部箴島豊教授などが多くの市販されているごま油の匂い成分をガスクロマトグラフィーで分析した結果を報告していますので表 3-5 に掲載させていただきました。胡麻の煎り方が個々のごま油の製造過程で異なりますから、それぞれに含まれるメイラード生成物の割合が異なり、色と香りの少ないものも濃いものも市販されています。胡麻に本来含まれる成分は煎り方にあまり依存しませんが、メイラード反応により生成する成分はそれぞれの胡麻の煎り方により成分比が大きく変化しますから、分析値には大きなばらつきが生まれます。そのため、多くの市販品の分析値の平均値とその値のばらつきを表す変動係数が掲げてましたが、大きな変動係数は水色の数字で特記しました。また、一般に物質の蒸気圧とその物質のガスクロマトグラフィーの保持時間の間には深い関係がありますから、表 3-5 においても保持時間の小さい順に番号

表 3-5 ごま油の匂い物質の成分比

物質名	番号	平均値	変動係数	物質名	番号	平均値	変動係数
エタノール	1	2.61	119.9	ノネナール	19	0.36	53.2
ペンタナール	2	1.14	85.7	イソプロペニルピラジン	20	0.54	37.4
ヘキサナール	3	1.99	57.7	メチルフルフラール	21	1.08	53.2
ヘプタナール	4	0.09	31.6	プロピルピラジン	22	0.38	58.8
ペンチルフラン	5	0.29	40.7	トリメチルシクロペンテノン	23	0.40	66.3
メチルピラジン	6	6.91	51.7	アセチルピラジン	24	0.71	53.3
ジメチルチアゾール	7	0.35	33.7	酢酸ピリジン	25	0.17	33.5
ジメチルピラジン	8	6.86	17.1	アセトフェノン	26	0.76	49.7
ジメチルピラジン	9	2.71	37.9	フルフリルアルコール	27	1.73	53.0
エチルピラジン	10	1.47	24.7	メチルフラニルプロパノン	28	0.15	34.0
ジメチルピラジン	11	1.52	20.6	チオフェンアルデヒド	29	0.35	48.1
エチルメチルピラジン	12	1.59	26.7	プロピルメチルチアゾール	30	0.83	48.6
エチルメチルピラジン	13	1.58	27.6	デカジエナール	31	0.16	38.7
トリメチルピラジン	14	3.37	15.9	デカジエナール	32	0.84	63.9
エチルジメチルピラジン	15	2.97	26.2	グアイアコール	33	2.67	61.2
エチルジメチルピラジン	16	0.89	26.4	ジメチルアセトフェノン	34	3.97	54.5
エテニルメチルピラジン	17	0.46	39.0	ドデカノール	35	0.23	61.7
ベンズアルデヒド	18	2.21	44.8	ピロールアルデヒド	36	0.72	44.7

を付けて並べました。この表でペンタナールやヘキサナールなどのアルデヒド類が目につきますが、これらは胡麻の油脂成分を構成するオレイン酸とリノール酸が熱分解して生成したと考えられます。また、ベンゼン環を含む芳香族化合物は表 3-5 で赤色に塗り分けました。

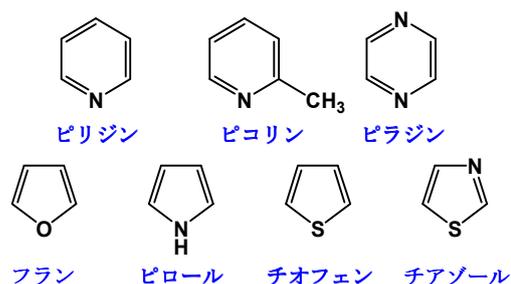


図3-17 種々の芳香族複素環化合物

図 3-17 に掲げたようにベンゼンの炭素原子と水素原子が窒素原子や酸素原子や硫黄原子で置き換わったピリジンやピラジンやフランやピロールやチオフェンやチアゾールを部分構造に持つ化合物を芳香族複素環化合物と総称しています。表 3-5 で紫色に塗り分けた物質はいずれもこのような芳香族複素環化合物で、ピラジンの母核に種々の炭化水素鎖が結合した多くのピラジン類が短い保持時間でクロマトグラフィーにより検出されています。

お茶の知識が中国から輸入されていなかった平安時代から、深く煎り上げた大麦をお湯で煮だした麦茶が飲まれていたようで、江戸時代でもお茶が高価であったために庶民の間では大いに馴染まれていたようです。この大麦も胡麻と同じように種子ですから、発芽に必要な糖分や蛋白質や脂質を多く含んでいます。大麦を煎りますと、含まれているブドウ糖などの糖分と蛋白質は種子の中でメイラード反応により多少褐色に変色しながら香ばしい香りに煎りあがります。しかし、胡麻と大麦では本来含まれる糖分や蛋白質や脂質の成分が違いますからメイラード反応の生成物も異なり、麦茶はごま油とは違った香りになります。

コーヒー豆は大きくアラビカとロブスタとリベリカの 3 種に分類されるアフリカ原産のコーヒーノキの種子で、コーヒーの味が大きく影響するクロロゲン酸やカフェインのほかに発芽に必要な糖分や蛋白質や脂質を多く含んでいます。このコーヒー豆を高温で焙煎

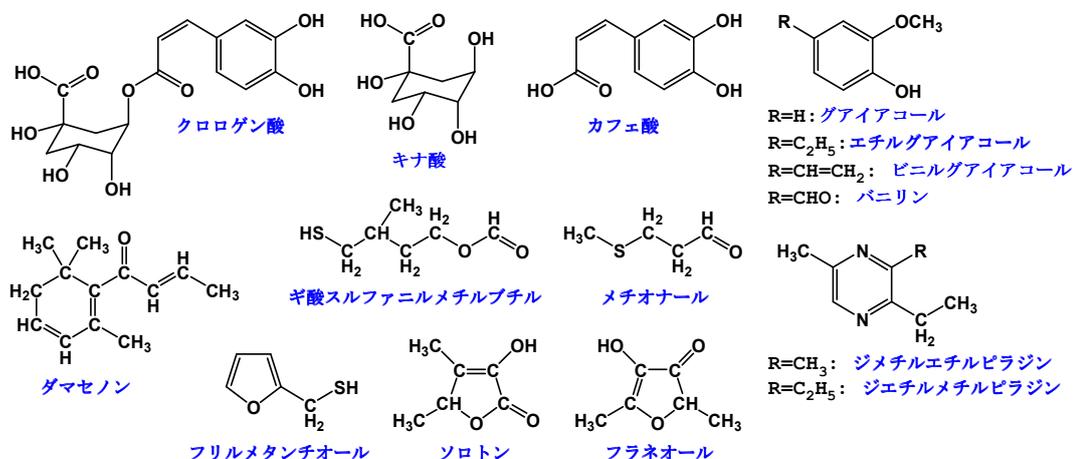


図3-18 コーヒーの香り成分

してもカフェインはあまり変性しませんが、クロロゲン酸は図 3-18 に示すキナ酸とカフェ酸に分解しますから苦味や酸味が強くなります。さらに高温で焙煎しますとメイラード反応が進行して、含まれる糖分と蛋白質がコーヒー独特の匂い成分に分解します。焙煎によるこれらの分解生成物はコーヒーメラノイジンと総称され、コーヒーの香りのもとになる揮発性成分としては約 900 種類の化合物が調べられています。中でもダマセノン、ギ酸スルファニルメチルブチル、メチオナール、フリルメタンチオール、フラネオール、ソトロロン、グアイアコール、ビニルグアイアコール、エチルグアイアコール、バニリン、ジメチルエチルピラジン、ジエチルメチルピラジンなどの図 3-18 に構造を示した成分がコーヒーの香りを大きく特徴づけています。

クロロゲン酸が焙煎によりキナ酸とカフェ酸に分解し酸味と苦味が増しますから、浅煎りで焙煎したコーヒーと深煎りで焙煎したコーヒーでは味が異なります。その上、煎り方によりメイラード反応の進行が異なりますから、匂い成分の生成する量も異なり、深煎りで焙煎したほうが強い香りを立てると思われます。コーヒー豆の種類ばかりでなく焙煎の仕方がコーヒーの味と香りを決めています。味も香りも強いコーヒーが好まれることもあります。味も香りも優しいコーヒーが飲みたくなる時もありますから、コーヒーには優劣がありません。

太平洋戦争後に日本中が貧乏になり食べることに事欠いた時代に、コーヒー愛好家たちは大豆を黒くなるまで深煎りしてコーヒー豆の代用品にしました。大豆は糖分と蛋白質を多く含んでいますから、焙煎することによりメイラード反応が進行してコーヒーと類似の色と香りを生み出しますが、クロロゲン酸もカフェインも含んでいませんからコーヒーの代用品としては満足なものではなかったようです。

ご飯を固めたおにぎりに醤油を塗って炭火の上で焼けばお米のでんぷんと醤油に多く含まれるアミノ酸が高温に加熱されますから、メイラード反応が進行して匂い成分が生成して香ばしい焼きおにぎりになります。柔らか目に炊いたご飯を潰して串や細板に塗り固め、甘めに味付けした味噌や醤油を塗りながら焼くと御幣のようになりますので御幣餅と呼ばれる中部地方の郷土料理になります。この御幣餅はご飯のでんぷんと味噌や醤油のアミノ酸を高温で加熱しますから、焼きおにぎりと同じようにメイラード反応が進行して褐色に変色するとともに分解生成物により香ばしい香りを持った食べ物になります。札幌名物の焼きトウモロコシや草加せんべいや磯辺巻きの餅などはこのようなメイラード反応を利用した料理法により味と香りが付けられています。さらに味醂や砂糖を加えた甘辛の醤油を塗って焼く時にもメイラード反応が進行しますから、鰻の蒲焼や焼き鶏や魚の照り焼きは香ばしい香りをもたらします。鰻屋も焼き鶏屋もこのメイラード反応で生成する香ばしい匂いの煙を通行人に向けて吹きだして客寄せをしています。

ピリジンは図 3-17 に示すようにベンゼンの炭素原子と水素原子が窒素原子で置き換えられた芳香族複素環化合物で、ピコリンはそのメチル置換体です。これら 2 種の芳香族複素環化合物は著者が長い年月にわたり取り扱ってきた 2000 種類以上の化学薬品の中で最

も不愉快な吐き気を催す匂いを持ち、永遠に馴染むことのできない物質です。胡麻やコーヒーの焙煎によるメイラード反応で生成するピラジンとメチルピラジンはこのピリジンとピコリンの炭素原子と水素原子がそれぞれ窒素原子で置き換わった構造を持っており、ピリジンとピラジンおよびピコリンとメチルピラジンはそれぞれ互いに非常に近い沸点を持っています。ピラジン単体はピリジンと非常に類似した不愉快な匂いを持っていますが、種々の炭化水素鎖が結合した多くのピラジン類が少量ずつ混合した場合にはごま油やコーヒーの独特の香ばしい香りに感じられるようです。

宗教と結びついた香り

フェロモンは動物が体外に分泌し、その匂いにより他の同種の動物に一定の行動や発育の変化を促し、他の種類の動物に特異的な行動を触発させる生理活性物質です。また、多くの微生物は糖質や蛋白質を分解して生命活動を維持していますが、蛋白質の分解過程では脱炭酸を伴った脱アミン反応による脂肪酸への変化と、カルボン酸部分の脱炭酸によるアミン類への変化が主に起こります。糖類やでんぷんの酸敗や蛋白質の脱炭酸と脱アミンによるアミノ酸から脂肪酸への変化により酢酸や乳酸やブタン酸などの特異な匂いを持つ物質を生産しますし、蛋白質の脱炭酸反応により生臭みを持つアミン類が生産されます。このように人間はフェロモンや汗や糞尿など種々の匂いを持つ物質を分泌し排泄しますが、そのほかに食べ物の腐敗などによる特有の匂いを持つ物質にも取り囲まれています。人間は個々に遺伝的要素も気候風土も生活習慣も異なりますから、個人としても、家族としても、民族や人種としてもそれぞれ固有の匂いを持っています。

鼻はこれらの種々の物質が鼻孔から吸い込まれ、鼻の粘膜に接触して検出することにより種々の情報を得ていますが、空気中にわずかに含まれる気体の分子や非常に細かい粉末の情報を整理して、その発生源となる物質の所在や性質を推測します。睡眠中でも呼吸とともに空気中に含まれる物質と接触して情報の収集を続けますから、嗅覚は不意に起こる状況の変化の情報を的確に捉える傾向があります。次に起こるかもしれない不意の状況の変化に備えて、嗅覚は常に全く匂いのない状態を保つように、周囲に漂うすべての匂いに馴染みます。そのため個人の体臭ばかりでなく、同じ家族や同じ民族や人種の匂いは好ましく馴染み、ほとんど感じなくなります。反対に生存競争において敵対したり危害を加える相手の匂いには馴染めずに忌み嫌います。

節分には「福は内、鬼は外」と叫んで豆を撒きますが、福や天使や御霊や正気は日常生活に必要で有益を齎すものと歓迎され、鬼や悪魔や怨霊や邪気は危険や害毒を齎すものと忌み嫌われ特有の臭みを持っていると考えられてきました。臭みのもととなる脂肪酸やアミン類は水に比較的良好に溶けますから、水で身体を清めて福や天使や御霊や正気を歓迎します。また、分泌物の分解を抑え、良い匂いを漂わせると鬼や悪魔や怨霊や邪気を追い払うことができると考えられていました。

インドの仏教では香を焚くと不浄を払い、心識を清浄にするとされ、花や灯明を仏前に

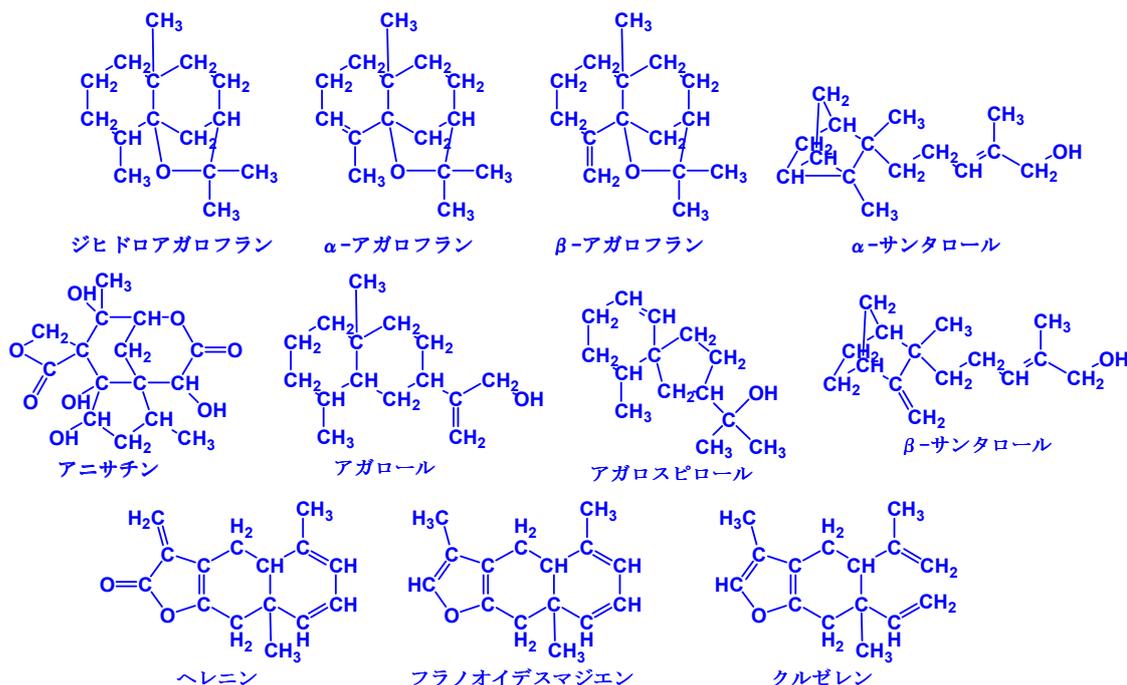


図3-19 香木中の香り成分のセスキテルペン

供するとともに仏前で香を焚くことを供養の基本としています。日本の仏教寺院でも水屋あるいは手水舎で手を清め、護摩や抹香を焚いて焼香し、よい匂いを立ち込めて邪気を追い払います。彼岸の墓参りには手桶から墓に水をかけて清め、花を供え、線香を焚いて先祖の霊を祭ります。信仰深い人は毎日仏壇に陰膳を供え線香に火を点けて祈ります。キリスト教の中で福音派では焼香をしてはならないとしています。カトリック協会では聖なる水によって清められるように灌水し、祈りが香のけむりのように受け入れられるように献香します。このように、分泌物や排泄物の分解を抑え、良い匂いを漂わせて臭いを紛らわせる物質が鬼や悪魔や怨霊や邪気を追い払うという自然発生的な考えは多くの宗教儀式に今も残っています。

宗教儀式には世界的に古くから沈香と白檀の2種類の香木が主に用いられてきました。沈丁花科に属する沈香木という植物は風や害虫などにより傷ついたときに、絆創膏のように樹脂を分泌して自衛的にその傷口を覆います。その樹脂状の物質には図3-19に示すようなアガロールやアガロフランやアガロスピロールやジヒドロアガロフランなどの非常に芳しい香りを持つセスキテルペンが含まれています。しかしこれらの香り成分含量の割合が産地により多少異なりますから、インドシナ半島産のものは甘い香りで、インドネシア産のものは苦みのある香りに感じられるそうです。当然、この樹脂状物質を多く含むものは良い香りを多量に発しますが、この物質の比重が大きいため水に沈みますから沈香と呼ばれ珍重されてきました。正倉院に収められている国宝の蘭奢待は特に樹脂状物質を多く含む非常に比重の大きな沈香で、織田信長など非常に限られた権力者だけがその香りを楽しみました。

さらに香木や香草にも多くの種類がありますし、同じ香木でも産地によって甘い香りからツンとするような香りまで種々ありますから、その場の雰囲気にも最も相応しい香りを調合する遊びやその香木や香草の種類を言い当てる遊びが香道として上流社会に生まれました。さらに、究極まで文化が凝縮した茶道では、炭点前の時に用いる炭の中や香炉で香木を焚き、芳しい香りを燻らせて茶席を清めるように発展しました。

白檀は中国では梅檀と呼ばれインドやインドネシアやオーストラリアに分布する熱帯性の常緑樹で、「梅檀は双葉より芳し」と格言にもあるように爽やかな甘い香りを持っています。その香りの成分は図 3-19 に示すように α -および β -サントロールと呼ばれるセスキテルペンで精油成分



図3-20 梅檀の花と実

に含まれています。因みに図 3-20 に示す花と実をつける大木を日本では梅檀と呼んでいるようですが、花がかすかに香る程度で白檀とは全く異なる植物のようです。

中東に生まれたキリスト教では沈香のほかに、乳香と没薬が香料として用いられています。北部アフリカから中東の地域に棲息する植物の乳香樹や没薬樹に傷を付け滲み出てくる樹液は匂いを持っていませんが、その樹液を集めて空気に晒して固化させた乳香にはフェランドレンやリモネンやピネンやサビネンやチモールなど種々のモノテルペンが含まれていますから、桧の香りのようなほのかに果物の甘い香りと酸味のある奥深い神秘的な爽やかな香りを持っています。没薬には図 3-19 に示すようなフラノオイデスマジエンとクルゼレンなどのセスキテルペンが香り成分として含まれており、近年男性用香水にも使用されています。

このように沈香と白檀が香木として古来珍重されてきましたが、沈香木は絶滅のおそれのある野生動植物の種の国際取引に関するワシントン条約で希少品種に指定されており、白檀は栽培が困難なために主生産地のインド政府が伐採や輸出の制限をしていますから、極めて入手が困難になっています。そのために近年では比較的類似の香りを持つクローブ（和名は丁子）やシキミが広く用いられています。クローブは前節で掲げたように芳香族の物質リグノイドのオイゲノールを含んでいます。シキミは日本や中国に分布する常緑樹で、古くから仏教寺院で仏に供されていました。関西地方ではこの習慣が未だに残っており葬式の折に主にシキミを飾りますが、関東地方では葬式の折に生花や花輪を飾るようになっています。このように仏事に縁の深いシキミには香り成分として図 3-18 に示すアニサチンが含まれていますが、このアニサチンは毒性を持つセスキテルペンですからこの果実を食べて死亡した例が報告されています。

これらのセスキテルペンやリグノイドなどの香りの成分は比較的分子量が大きく、蒸

気圧が小さいために室温ではほとんど無臭ですが、加熱すると芳しい香りを発します。そのため、細かく細粒状に刻み抹香として焼香や献香に用いられてきました。また、微細な粉末にして糊の働きをするタブの木の樹皮の粉末とよく練り合わせて、細い棒状に固めた線香にして仏事に用いら

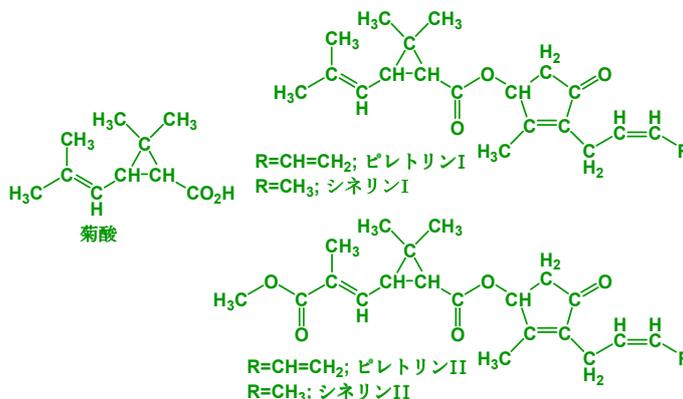


図3-21 除虫菊の香り成分

れています。彼岸の墓参りでは風などで1本の線香では消えてしまうために、多くの線香を束にして点火して先祖の霊を祭ります。インドや中国では渦巻き状に成型した渦巻線香や竹ひごに練りつけて固めた竹ひご線香なども用いられています。

シロバナムシヨケギクは除虫菊とも呼ばれる地中海原産のキク科の多年草で、ピレステロイドと呼ばれる殺虫効果を持つ一群の成分を胚芽部分に持っています。明治維新後に導入された除虫菊を乾燥し粉末にして線香を作る技術で蚊取り線香を完成しました。ピレステロイドはモノテルペンの一種の菊酸のエステルで、除虫菊には図 3-21 に示すような2種のピレトリンと2種のシネリンが含まれています。このピレトリンとシネリンは昆虫に対する生理活性の効果と比較して哺乳類や鳥類に対する効果が弱いために、人間や家畜用の防虫殺虫剤としての適性を持っていますが、光や空気による酸化により短時間に活性を失う欠点を持っています。そのために種々の菊酸エステルが人工的に合成され、効果が持続する殺虫剤に改良され、蚊取り線香ばかりでなく防虫殺虫スプレーや防虫薫蒸剤や農薬に利用されています。

猫が恍惚となるマタタビ

日常生活が続いていますと好ましい香りや鼻を摘まみたくなる臭みなど多くの匂いが漂ってきます。パン屋さんに入れば、糖類が発酵してわずかに副生するアルコールの匂いが焼きたてのパンを想像させますし、ケーキ屋さんではバニラの匂いも混ざって甘い気持ちになります。焼き鶏屋さんや鰻屋さんを通るときには、醤油が焦げる匂いとともには鶏や鰻の蛋白質や油が高温で分解して発生する脂肪酸やアミン類が食欲を呼び起こします。さらに、焼肉屋さんでは蛋白質や油が高温で分解するときの匂いにニンニクの匂いまで加わります。嗅覚で得られる情報は食べ物を連想させて、幸せにしてくれます。このように匂いは食欲を刺激するばかりでなく気持ちを高揚させたり鎮めたりする多くの精神的な作用をしますから、円やかな香りを用いたアロマセラピーが種々の精神的な歪をもたらす現代の忙しい生活にもてはやされています。

人間だけでなく多くの動物にとってもある種の匂いは精神的な高揚や沈静をもたらします。猫や虎やライオンなどの猫族の動物はマタタビを食べると精神が高揚するために、その匂いを非常に好むことが知られています。マタタビは日本の各地の山林に生育する落葉蔓性植物で夏の終わりに図 3-22 に掲げた写真のような小指の先ほどの大きさの実を付けますが、この実に含まれるネペタラクトン（別名マタタビラクトン）やジヒドロネペタラクトンやアクチニジンなどの成分に猫は恍惚となります。著者もマタタビの実の塩漬けを食べたことがあります、塩漬けのためか多少苦みを感じましたがあまり強い匂いもなく、猫族のような恍惚感を味わうこともできませんでした。昔から「猫にマタタビ」という言葉が生まれるほどに、マタタビは猫を特異的に恍惚とさせる効果を持っているようです。



図3-22 マタタビの実

これらの成分はいずれもゲラニルピロリン酸から図 3-23 に示すようにイリドジアルを中間物質とした経路で生合成されるイリドイドと呼ばれる一連のモノテルペン類で、このイリドイドは杜仲やリンドウやセンブリなどの多くの漢方薬にも含まれ、神経を鎮静する効果や抗腫瘍や抗炎症などの多くの生理活性を示します。

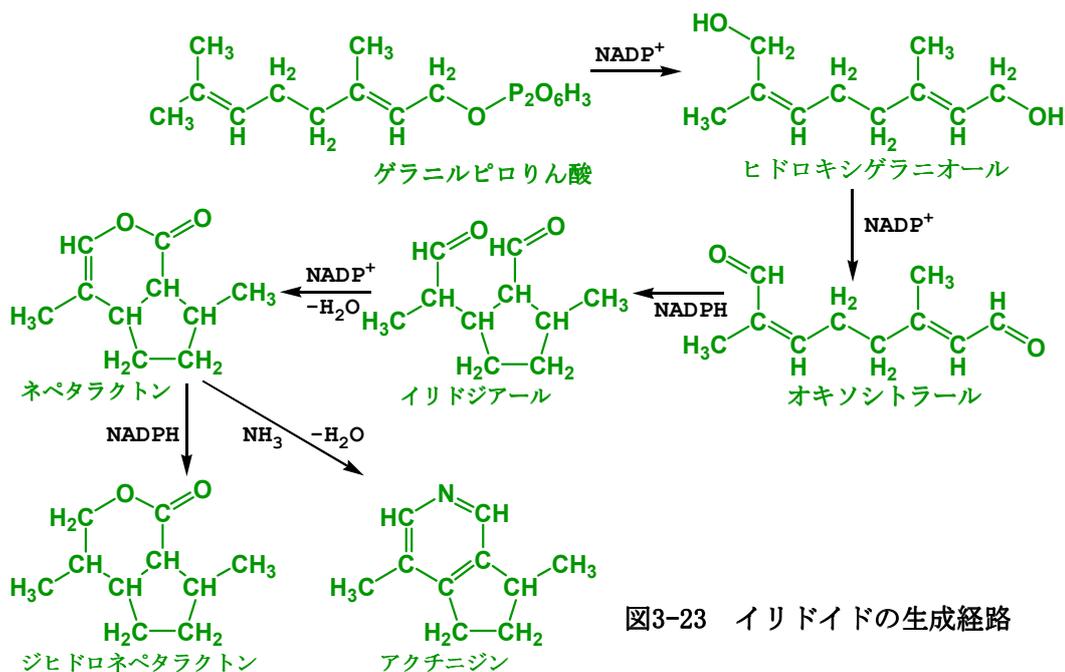


図3-23 イリドイドの生成経路

妖しい香りの麝香

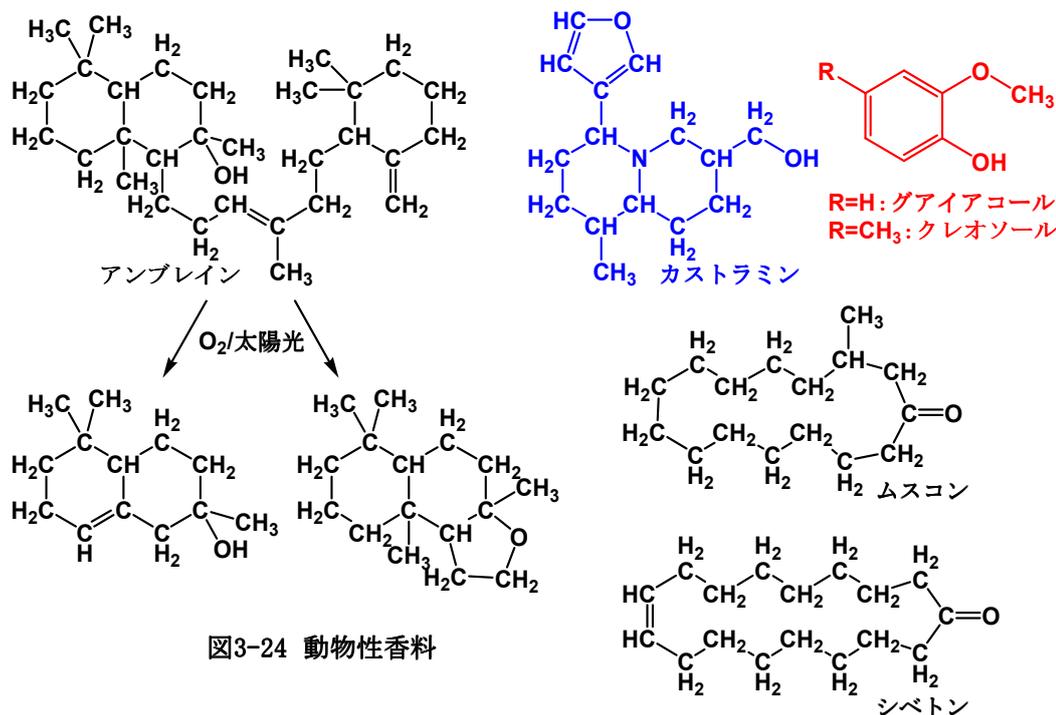
フェロモンは動物が体外に分泌し、その匂いにより他の同種の動物に一定の発育の変化を促し、特異的な行動を触発させる生理活性物質です。特に配偶者を探して交尾するような行動を触発する性フェロモンは異性に対して好ましい香りになります。「猫にマタタビ」のように、フェロモン以外にも動物を特異的に魅了したり忌避したりする効果を持っている匂いの物質もあります。

良い匂いが鬼や悪魔や怨霊や邪気を追い払うという自然発生的な考え方から、時間的にも経済的にも余裕のある上流社会では、香木を加熱燻蒸して室内や衣服や身体に芳しい香りの成分を染み込ませる習慣を生み出しましたが、生活に迫られる一般庶民には真似のできないことでした。このような種々の香りの成分はアルコール類に良く溶けますから、香りの成分をエタノールで抽出して香水を作る技術がその後が開発されました。香水は永年にわたり香りを貯蔵することができ、容易に衣服や身体に香りの成分を染み込ませることができ、香りを楽しむこの上流社会の習慣が広く一般社会に拡大伝搬してゆきました。生活に密接に関係するようになった香水には、その使用する状況に応じて数種に分類されています。匂いは精神的にも多くの作用をしますから、アロマセラピーでは気持ちを落ち着ける働きを持つ花や木など植物に由来する匂いの香水を用いています。

抹香鯨は体長が 20m にもおよぶ大型の鯨で全世界の海に棲息していますが、主食とするタコやイカの体内の消化し難いものの固まった結石が龍涎香として排泄されます。また、毛皮として珍重されてきたビーバーも性フェロモンとして海狸香と呼ばれる匂いの物質を分泌します。同じようにヒマラヤからシベリアの山林地帯に住む雄の麝香鹿は麝香と呼ばれる匂いの物質を、アフリカに生息する麝香猫は霊猫香と呼ばれる匂いの物質を性フェロモンとして分泌します。さらに、全ての生物に含まれるトリプトファンと呼ばれるアミノ酸の分解生成物のスカトールはイタチやスカンクが自衛のためにする最後っ屁に用いられ、空気中に大量に含まれているときには鼻を掴みたくなるような臭みの物質です。

龍涎香には主な匂いの素になる成分としてアンブレインと呼ばれるアルコール類が含まれていますが、図 3-24 に示すように炭素数 3 原子の炭素鎖を挿んで側鎖にメチル基を持つ基本骨格の一連の化合物群ですから、ゲラニルピロリン酸が様々な位置における酸化、還元、環化、脱水などの化学変化を経て生物体内に生合成された炭素数 30 原子からなるトリテルペン類です。このアンブレインは太陽光や酸素の影響を受けて酸化されて、モノテルペンやセスキテルペンと類似の構造を持つ芳しい匂いの物質に分解します。また、海狸香の主な匂い成分は図 3-24 に示すようなカストラミンと呼ばれる一種のセスキテルペンですが、そのほかに燻製などの独特の匂いを持つ芳香族物質のグアイアコールやクレオソール (4-メチルグアイアコール) など多くの成分が含まれています。

麝香の匂い成分はムスコンと呼ばれる図 3-24 に示すような 15 個の炭素原子の鎖で構成される環状の構造をしていますし、霊猫香の匂い成分のシベトンも 17 個の炭素原子の鎖で



構成される環状の構造をしています。このように多くの原子で構成される環状の構造を持つ化合物を大環状化合物と呼んでいますが、特に炭素=酸素二重結合を含む大環状化合物は芳しい香りを持つ性フェロモンとしての生理活性を示します。たとえば、炭素=酸素二重結合の炭素原子を含め、シクロペンタデカノンやシクロヘキサデカノンなどの炭素数 13~17 個の大環状化合物はムスコンと極めて類似の香りを持っています。さらに、ヒドロキシペンタデカン酸やヒドロキシシクロヘキサデカン酸がエステル結合で環化したシクロペンタデカノリドやシクロヘキサデカノリドのように構成原子数が 13~17 個の大環状エステル類も類似した極めて芳しい香りを持っています。因みに、このような大環状化合物は抗菌作用や抗腫瘍作用など強い生理活性も示しますから、抗生物質の エリスロマイシンや抗真菌剤のアムホテリシンや免疫抑制剤のタクロリムスなどが医薬として実用に供されています。

これらの麝香や霊猫香や海狸香などは性フェロモンですから異性のそれぞれ麝香鹿や麝香猫やビーバーにとっては配偶者を探して交尾するような行動を触発する好ましい香りですが、人間にとっても配偶者を探して恋愛行動を触発する妖しく好ましい香りと感じられます。動物の本能が退化してしまっている人間にとっても性フェロモンの働きをしますから、古くから麝香や霊猫香や海狸香などの動物の性フェロモンは上流社会で媚薬として珍重されてきました。さらに香水の文化の発展とともに、甘く暖かみのある香りが強く性的な魅力を感じさせるアニマリック香水にも、これらの動物の性フェロモンや龍涎香やスカトールなどの匂い物質が 100 倍~1000 倍に希釈して用いられるようになってきました。

このように動物由来の匂い成分は珍重されるとともに広く一般社会に普及してゆき、全

世界の年間の需要は約 10000t にも拡大していますから、麝香鹿も麝香猫も飼育が困難なために乱獲されました。また、龍涎香は広い海上に浮遊しているものを拾い集めていましたが、蠟燭用の油脂として大量に消費される鯨油とともに抹香鯨の体内からも龍涎香を得ることができるために、19 世紀以降に盛んに捕鯨が行われました。結果として、麝香鹿も麝香猫も抹香鯨も個体数が激減してしまい、「絶滅の恐れのある野生動植物の種の国際取引に関する条約」(ワシントン条約)や国際捕鯨取締条約により、捕獲や商取引が禁止や規制をされるようになりました。そこで動物性の香料の価格が高騰し入手困難になりましたので、これらの香り成分の人工的な合成が多く化学者によって研究されました。

一般に、調製したい化合物を人工的に合成するときには、分子の構造の類似した化合物を原材料にして、構造の一部分を化学変化させる手法が広く用いられてきました。しかし、多くの原子で構成される環状の構造を持つ化合物は自然界にあまり存在しませんから、ムスコンやシベトンなどの大環状化合物を合成するための適当な大環状の原材料を入手することは困難です。そのため基本的には構成原子数の鎖状化合物の頭と尻尾に反応性の高い部分を作り、互いに化学反応により結び合わせて大環状化合物を形成します。この基本構想の段階では大環状化合物は容易に合成可能に思われますが、実際には多くの問題があります。

A 子さんが結ばれてゆく恋愛反応は A 子さんが多くの男性と出会いお付き合いする機会の多いほど起こりやすくなります。2 つの反応点を結び付ける反応はこのような出会いの反応と似ていますから、一方の反応点に対して他方の反応点が接近する確率の高いほど反応が速やかに進行します。大環状化合物の原材料となる鎖状化合物の分子量は 200~300 ですから、その 1mL 中には少なくとも 10^{21} 個の分子が存在します。反応性の高い頭の部分の近くには同じ分子の尻尾の部分が必ず 1 個ありますが、同時に別の分子についての尻尾の部分が 1mL 中に 10^{21} 個もありますから、一つの分子の頭と尻尾が結ばれて大環状化合物に環化することもあります。別の分子の尻尾が接触して結ばれ、分子の鎖が成長する重合反応が進行することもあります。この大環状化合物に対する重合反応生成物の割合は同じ分子の尻尾に接触する数に対する別の分子の尻尾の接触する数の割合に比例しますから、重合反応が圧倒的に進行し、環化反応はほとんど確認できません。

しかし、溶媒に大環状化合物の原材料を溶かしますと、同じ分子の尻尾の部分は相変わらず頭の部分に近い位置に 1 個ありますが、別の分子についての尻尾の部分は溶媒により薄められて少なくなります。通常の化学反応に用いられる 0.1mol/L の濃度の反応条件で原材料を不活性な溶媒に溶かしますと、別の分子についての尻尾の部分の接触する割合が 1mL 中に 10^{19} 個まで減少しますから、重合反応生成物の割合も減少し僅かに大環状化合物が生成の割合が増加します。溶媒の量を増やして稀薄溶液にしますと、重合反応に対する環化反応の割合はさらに増加しますから、大環状化合物を実質的に合成する希釈法と呼ばれる有効な方法となります。

希釈法とは別に、同じ分子の頭と尻尾を強制的に近付けることにより、別の分子の尻尾

に接触する割合を抑えて大環状化合物を合成する方法も開発されています。図 3-25 に示すように脂肪酸ジカルボン酸に金属酸化物を加えますと炭化水素の鎖が強制的に押し曲げられ一つの金属原子に頭と尻尾のジカルボン酸が結合した金属塩を生成します。このようにして頭と尻尾の 2 つのカルボン酸の原子団が接近した状態から、加熱により二酸化炭素の脱離を伴い環化反応が進行してシクロアルカノンが生成します。金属酸化物として酸化カルシウムや酸化バリウムなどを用いた反応では、炭素数が 5~6 個のシクロアルカノンは比

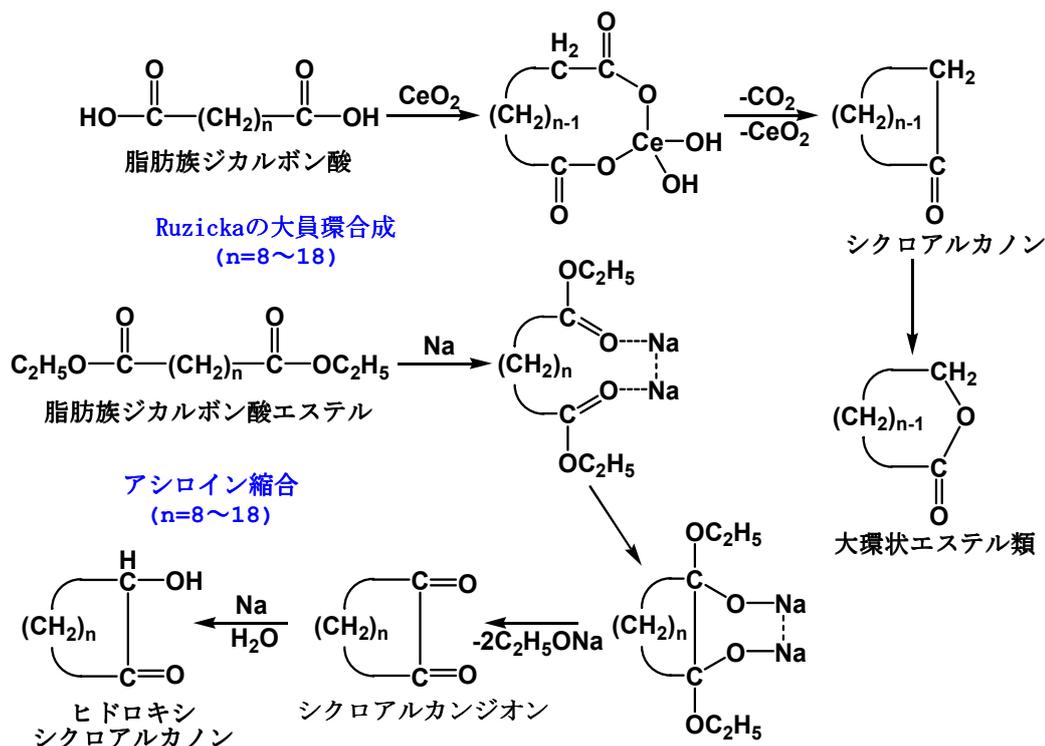


図3-25 大環状化合物の合成法

較的高い収率で生成しますが、炭素数が 13~18 個からなるシクロアルカノンは生成が困難でした。Ruzicka は種々の金属酸化物を触媒とする反応条件を精査し、酸化セリウムや酸化トリウムを用いたときに炭素数が 13~18 個のシクロアルカノンの生成収率を 5%まで向上させました。

図 3-25 に示すように脂肪酸ジカルボン酸エステルを金属ナトリウムの表面で反応させますと、同じように炭化水素の鎖が強制的に押し曲げられてナトリウム金属の表面に頭と尻尾のカルボン酸エステルが吸着した中間の状態から、環化反応が進行して、シクロアルカンジオンが生成します。その後ナトリウム金属による還元が進行してヒドロキシケトン（別名アシロイン）を生成しますので、アシロイン縮合と呼ばれています。Prelog が開発したこの反応はナトリウム金属の表面に脂肪酸ジカルボン酸エステルの吸着する過程から始まりますから、その表面積を大きくするために金属を微粉末にすることにより収率の向上がなされました。さらに微粉末の金属ナトリウムの表面に非常に少量ずつ脂肪酸ジカルボン酸エステルを滴下しながら加える希釈法を併用することにより、大環状化合物の収率

良い合成が可能になりました。

このように多くの研究者の努力により、ムスコンやシベトンなどの入手困難な動物性の匂い物質が合成可能になりましたが、さらに炭素数が 13~18 個のシクロアルカノンなど動物性の香料と類似の香りを持つ人造香料も調製できるようになりました。男性の鼻を擽るような女性用の香水にはバラなどの花の香りのほかに、性的魅力を強調するこれらの動物性の香り成分とそれに類似する人造香料が含まれています。

4. 温度で変わる空気中の気体物質の濃度

エネルギーの釣り合いで変わる恋愛模様

A 子さんが恋人として B 君との付き合いを決心したり、結ばれていた A 子さんと B 君が別れを決心したりするためには、将来の生活の精神的あるいは経済的な安定性を考えなければなりませんし、気持ちの整理をし、家族や周囲のことも考え合わせて種々の障害を乗り越えなければなりません。万物の変化においても同じように、反応の前後の系 A と系 B のそれぞれのエネルギー的な安定性の違いや、系 A から系 B への反応の途中で乗り越えなければならないエネルギー的に不安定な障害が反応の経過を大きく左右します。

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。生まれつき体格や運動能力や興味が違いますし、寝不足や体調も異なりますから、個々の小学生の持つ元気さは皆違います。先生が何もしなくても給食が終わると、元気な小学生は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。大人しく静かな小学生は直ぐに教室の秩序に従いますが、やんちゃで元気な小学生はなかなか授業を受ける気になりませんから、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すが、この時先生はかなりの精力を使わなければなりません。

原子は中性子と陽子と電子の 3 種の粒子がある秩序を持って集合して形作られていますが、それらの原子が集合して分子に、さらに分子が集合して物質が形作られています。それぞれの分子は固有のエネルギーを持って運動しています。このような分子が秩序を持って集合するときには、昼休み後の小学生のように分子は集合のためのエネルギーを必要とします。逆に、給食後の小学生も物質も放って置けば少しずつエネルギーを放出して次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。個々の小学生が持っている元気さのように分子が個々に持つ固有のエネルギーをエンタルピーと呼び、それらの分子を秩序高く集合させて物質を組織させるために必要であり、秩序なく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。

物理学の基礎となる**熱力学の 3 法則**のなかには、外界から遮断され独立した閉鎖系では、エネルギーも物質も形態は変化してもその総量を不変とする**エネルギー不減と物質不減の法則**が含まれています。また閉鎖系の中では、エネルギーを発散しながら秩序の失われる方向に変化が起こり、逆に秩序高く組織し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法則として認められています。このようなエンタルピー (H) とエントロピー (S) の 2 種類は物理現象を始め宇宙のすべての現象を支配するエネルギーの関係として、Gibbs が式 4-1 に数式化して纏めました。ただし、この系の絶対温度を T とするとき、この系の持つエネルギーの合計を自由エネルギー

一(G)と定義しています。

$$G = H - TS \quad \text{式 4-1}$$

さらに、ある系 A から系 B に変化する時には、両系におけるエンタルピーとエントロピーと自由エネルギーのそれぞれの変化を式 4-2 と定義しますと、式 4-3 が導かれます。ここで ΔG が負の値の場合には系 A よりも系 B の持つ総エネルギーが小さいことを意味しますから系 A から系 B への変化はエネルギーを放出しながら容易に進行する発熱反応であり、逆に ΔG が正の値の場合にはエネルギーを加えなければ反応の進行しない吸熱反応と考えられます。

$$\begin{aligned} \Delta H &= H_B - H_A \\ \Delta S &= S_B - S_A \end{aligned} \quad \text{式 4-2}$$

$$\begin{aligned} \Delta G &= G_B - G_A \\ \Delta G &= \Delta H - T\Delta S \end{aligned} \quad \text{式 4-3}$$

A 子さんが恋人として B 君との付き合いを決心したり、結ばれていた A 子さんと B 君が別れを決心したりするためには、気持ちの整理をし、家族や周囲のことも考え合わせて種々の障害を乗り越えなければなりません。当然、生活環境や生活観の違いや家族の反対や遠距離恋愛などの大きな障害がある場合には、A 子さんと B 君の恋愛物語の進展は遅くなります。同じように万物の変化においてもその起こる前の系 A から比較的エネルギー的に不安定な中間の状態を越えて変化後の系 B へ進行してゆくと考えられます。系 A から系 B への変化が進行するときに乗り越えなければならないエネルギー的に不安定な中間の障壁あるいは峠と考えられる状態を遷移状態と呼んでいます。この遷移状態と両系の関係を図 4-1 に模式化した反応座標に示します。峠を越えて山向へ行くとときに、峠が高ければ容易に山を越すことができませんから、ゆっくりと長時間かけて峠道を登ります。同じように、遷移状態の山が高ければ高いほど大きなエネルギーを必要としますから、系 A から系 B への変化は遅くなり反応は進行し難くなります。

2 つの系の間にかかるエネルギーの変化は、式 4-3 で示すような両系の間でのエンタルピー変化とエントロピー変化と自由エネルギー変化の関係で表

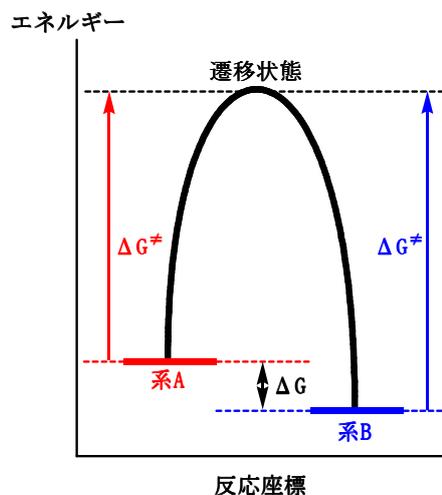


図4-1 反応座標

されます。系 A から遷移状態への変化に要するエネルギーも、式 4-3 と同じように式 4-4 に示す系 A から遷移状態への自由エネルギー変化で表されますから、活性化自由エネルギー (ΔG^\ddagger) と呼んでいます。ただし、系 A から遷移状態へのエンタルピー変化とエントロピー変化をそれぞれ活性化エンタルピー ΔH^\ddagger と活性化エントロピー ΔS^\ddagger と呼んでいます。ここで、遷移状態は系 A よりもエネルギー的に不安定ですから、 ΔG^\ddagger が正の値を持つ吸熱反応と考えられ、エネルギーを加えなければ遷移状態に到達しません。次に、付き合いを決心した後に A 子さんと B 君が幸せな二人の生活を夢見て邁進するように、エネルギー的に不安定な遷移状態から安定な系 B への峠を下るような変化は、 ΔG^\ddagger が負の値を持つ発熱反応ですから、エネルギーを放出しながら速やかに進行します。

$$\Delta G^\ddagger = \Delta H^\ddagger - T\Delta S^\ddagger \quad \text{式 4-4}$$

$$k_{A/B} = \chi e^{-\frac{\Delta G_{AB}^\ddagger}{RT}} = \chi e^{-\frac{\Delta H_{AB}^\ddagger}{RT} + \frac{\Delta S_{AB}^\ddagger}{R}} \quad \text{式 4-5}$$

$$k_{B/A} = \chi e^{-\frac{\Delta G_{BA}^\ddagger}{RT}} = \chi e^{-\frac{\Delta H_{BA}^\ddagger}{RT} + \frac{\Delta S_{BA}^\ddagger}{R}}$$

このような系 A から系 B への変化の活性化自由エネルギー ΔG_{AB}^\ddagger と反応速度定数 $k_{A/B}$ の関係を Arrhenius は式 4-5 に纏めました。逆に、結ばれていた A 子さんと B 君が別れてお互いの束縛から解かれるように、系 B から系 A への変化も同じように活性化自由エネルギー (ΔG_{BA}^\ddagger) の峠を越えて進行しますから、逆反応の活性化自由エネルギー ΔG_{BA}^\ddagger と反応速度定数 $k_{B/A}$ の関係も式 4-5 で表すことができます。ただし、R は気体定数、 χ は頻度因子、T は絶対温度で示す反応温度を意味しています。

万物の多くの変化において、系 A から遷移状態を越えて系 B に反応が進行して行きますが、同じ遷移状態を越えて系 B から系 A への逆反応も進行します。このように同じ遷移状態を通して両方向の反応が進行する可逆反応において、系 A から遷移状態までの活性化自由エネルギーの供給により系 B へ反応が進行しますが、系 B から遷移状態までの活性化自由エネルギーの供給により系 A への反応も進行します。反応の初期には系 A からの反応が早く、系 B からの反応は早くありませんが、次第に系 A からの反応が遅くなり、系 B からの逆方向の反応が早くなり、最終的に両方向の反応の速さが等しくなって平衡状態に達します。

系 A から系 B への反応とその逆反応におけるそれぞれの活性化自由エネルギーの差が自由エネルギー変化 (ΔG) ですから、式 4-3 に代入すると両系のエンタルピー変化 (ΔH) とエントロピー変化 (ΔS) の間に式 4-6 のような関係を見ることができます。可逆変化は系 A から系 B への変化とその逆方向の変化が相互に進行する場合であり、平衡状態においてはその平衡定数 K はそれぞれの反応速度定数の比で表すことができますから、式 4-5 より式 4-7 のような関係を導くことが出来ます。指数関数の式 4-7 は温度を変数とする対数

関数の式 4-8 に書き換えることができます。ただし、エントロピー変化を含めて温度に影響されない項を C にまとめました。

$$\Delta G = \Delta G_{AB}^{\ddagger} - \Delta G_{BA}^{\ddagger} = \Delta H - T\Delta S \quad \text{式 4-6}$$

$$K = \frac{k_{B/A}}{k_{A/B}} = \chi e^{-\frac{\Delta G_{AB}^{\ddagger} - \Delta G_{BA}^{\ddagger}}{RT}} = \chi e^{-\frac{\Delta G}{RT}} = \chi e^{-\frac{\Delta H - T\Delta S}{RT}} = \chi e^{-\frac{\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R}} \quad \text{式 4-7}$$

$$\log K = \frac{1}{\log_e 10} \left(-\frac{\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \right) + \log \chi = -0.052234 \frac{\Delta H}{T} + C \quad \text{式 4-8}$$

分子量 100 の物質は約 100°C で沸騰

分子はそれぞれ固有のエネルギーを持って運動していますが、これらの分子も集合する時には互いに接近しますから、直接結合していない原子の間にも電子の交換に由来する van der Waals 力と呼ばれる相互作用やわずかに原子上に存在する電荷による静電的な引力などの相互作用が起こります。分子間力と呼ばれるこの直接結合していない 2 個の原子間の相互作用は、分子と分子の間の距離に反比例する相互作用ですから、分子同士が遠く離れている時には無視できるほどに小さな分子間力しか働きませんが、分子の密度が高くなると、分子の間の距離が小さくなるため分子間力が大きくなります。これに対して、1 モルの分子が持つ運動エネルギー E は式 2-3 を加味しますと式 4-9 のように表すことができますから、低温では運動エネルギーが小さく、温度 T (絶対温度) が高くなるに連れて分子が速く激しく運動することがわかります。ただし、 m は分子の質量、 v は分子の運動の速度、 Na は 1 モルの分子の数、 R は気体定数を意味しています。

$$E = \frac{1}{2} m v^2 N_a = \frac{3}{2} RT \quad \text{式 4-9}$$

温度が低いために分子の運動エネルギーが分子間力よりはるかに小さいときには、固体の状態になり、分子間距離が小さくなるように分子は整然と規則的に並んでほとんど動くことが出来なくなります。この状態では分子はその配列を崩すほどには動くことが出来ません。温度が少し高くなり分子間力とほとんど同じ程度まで分子の運動エネルギーが大きくなると、分子は整然としたその配列を保つことが出来なくなり、液体となって物質の中を分子は自由に動き回るようになります。さらに温度が高くなり分子間力よりも分子の運動エネルギーがはるかに大きくなると、分子は物質の中の分子間力のしがらみから開放されて、自由な世界に飛び出してゆきます。この飛び出す現象を気化といい、分子が分子間力の影響をほとんど受けずに自由に運動できる状態を気体の状態といいます。

分子が整然と配列している固体にエネルギーが供給されますと、温度が上昇して運動エネルギーが大きくなりますから、微視的には部分的に分子が自由に動き回る液体の状態に変化を始めます。さらに供給されるエネルギーは固体から液体への状態の変化に費やされます

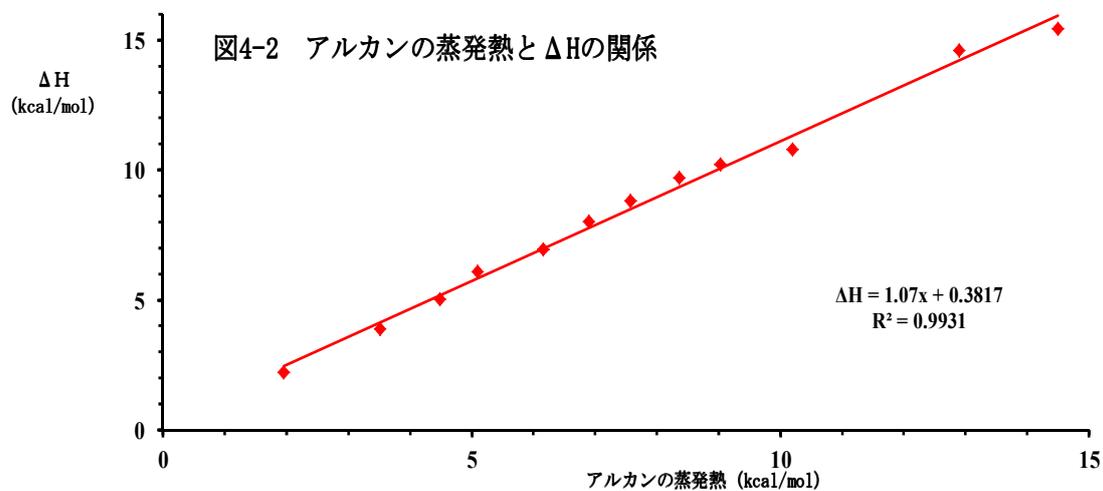
から、このように固体と液体の2つの状態が共存する温度を融点あるいは凝固点と呼んで物質固有の一定な温度に保たれます。エネルギーの供給がない時には分子の運動エネルギーと分子間力の総和が一定に保たれますから、この融点あるいは凝固点では固体と液体が平衡状態になります。

液体の状態では物質の中を分子は自由に動き回っていますが、エネルギーが供給されずと温度が上昇し運動エネルギーが大きくなりますから、分子が動き易くなり流動性が上がって粘性が下がってきます。エネルギーの供給が続きますと部分的に液体状態の分子が分子間力のしがらみから解放されて気体の状態に変化します。エネルギーの供給を続けると、供給されたエネルギーは状態変化に費やされて、ますます多くの分子が気体となってゆき全ての分子が気化しますが、この間に温度が一定に保たれます。エネルギーの供給がない時には分子の運動エネルギーと分子間力の総和が一定に保たれますから、液体から気体になって飛び出してゆく分子の数と気体から液体に戻る分子の数は等しくなり液体と気体の間は平衡状態になります。

このように分子同士の間で相互に働く分子間力と、分子が持つ運動エネルギーの大きさの大小と、秩序を持って分子の集合するために要するエントロピーの3種のエネルギーが釣り合って、物質の固体と液体と気体の3つの状態(3態)が決まってきますが、外部からのエネルギーの収支がなければ固体と液体と気体の3つの状態(3態)間にはそれぞれ平衡の関係が保たれます。平衡の関係にある2つの系の間には式4-8で表される関係が成り立ちますから、熱力学法則やエントロピーなどの熱力学の重要な概念を築いた Clausius は液体と平衡状態にある気体の圧力 P を式4-10にまとめました。ただし T はその時の絶対温度、 C はエントロピー変化を含めて温度変化に無関係な物質固有の値です。この式4-10のエントルピー変化 ΔH は固体や液体や気体などの相変化に伴う相転移熱ですから、液体から気体への状態変化に要する蒸発熱に相当します。実際、多くの飽和炭化水素に関する一定の蒸気圧を示す温度の実験値から式4-10により求めた ΔH と蒸発熱の実験値の間に図4-2のような対応関係がみられます。両値の比が1.07であり相関係数が0.9931ですから、この関係は実験値としてかなりよく対応していると思われれます。

$$\log P = -0.052234 \frac{\Delta H}{T} + C \quad \text{式 4-10}$$

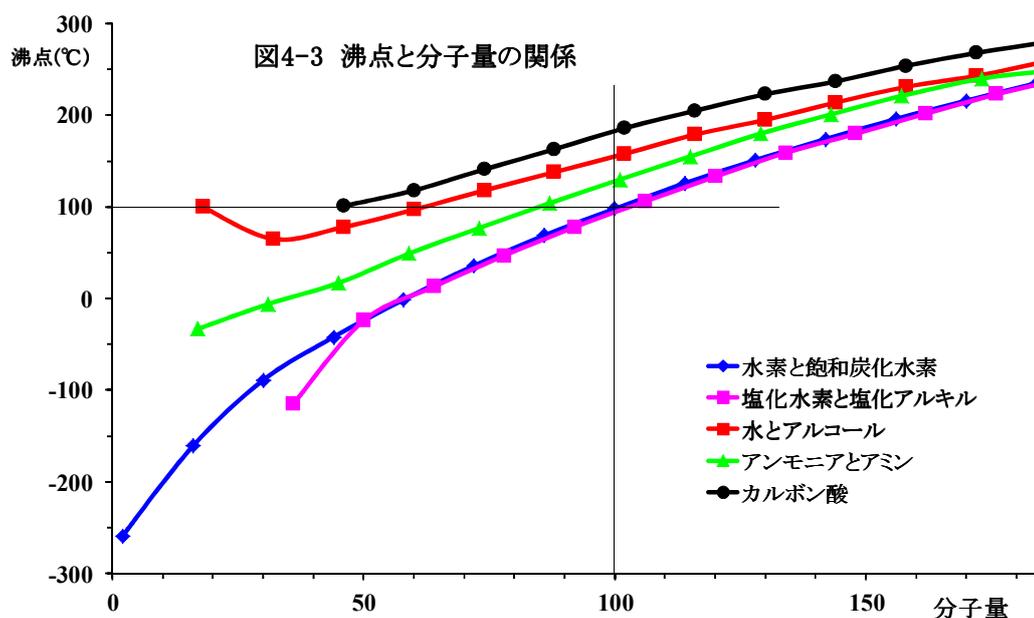
分子の持つ運動エネルギーは温度に比例しますが、式2-3で示すように分子量が大きな時にはたとえ温度が高くなってもゆっくりした速度で運動し、分子量の小さな分子は低温においても非常に早く運動します。軽くて小さい分子は低い温度でも分子間力により束縛されるよりも早く動き回りますから、分子の間隔が大きくなり液体や気体になり易い性質を示します。逆に、大きな分子量の分子の動きは鈍くなりますから、分子間力に負けてしまい、固体の状態を取りやすくなります。分子を構成する原子の種類や数が異なりますから、分子の分子量が異なり、運動エネルギーも異なります。また、分子の形や電荷の偏りなどが異なりますから、分子間力も分子によって異なります。そのために、式4-10の ΔH も C も物質に



よって固有の値を持ちます。

温度 T の上昇により式 4-10 の圧力 P が大気圧 (1010hPa) より少し大きな状態を沸騰と呼び、この時の絶対温度 T を通常は沸点と呼んでいます。同じような分子間相互作用を持つ物質では同じような分子間力を示しますから、分子量が沸点と高い相関性を示すと思われます。実際、分子間相互作用の類似している同族系列の有機化合物の分子量と沸点の関係を図 4-3 のグラフに示しますが、全ての系列において曲線が右上がりになっていますから、分子量が大きくなるほど沸点は高くなり気体になり難くなることを示しています。さらに、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 で沸騰します。

物質には固体、液体、気体の 3 態があり、分子などの分子同士の間で相互に働く分子間



力と、分子が持つ運動エネルギーの大きさの大小、秩序を持って分子の集合するために要するエントロピーの 3 種のエネルギーが釣り合って物質の状態は決まってきます。このように物質の 3 態は 3 種のエネルギーの釣り合いによりますが、分子の運動エネルギーが分子量に反比例しますから、沸点と分子量の曲線が上に平行移動することは飽和炭化水素や塩化アルキルなどの同族系列と比較して、アルコール類やアミン類やカルボン酸類の分子間力が大きいことを意味しています。分子間相互作用の小さな分子量約 100 を持つ物質が約 100°C で一般的に沸騰しますが、同じように 100°C で沸騰する水は分子量 18 に過ぎません。水は極めて異常と思われるほどに大きな分子間力が働いているために飛び出し難くなってしまい、飽和炭化水素や塩化アルキルと比較すると非常に沸騰し難くなって高い沸点を示しています。

温度で変わる空気中の水蒸気量

自由に動き回る気体の分子が壁に衝突するとき、壁が質量を持った分子から受ける力を圧力といいます。この圧力は分子の数が少なければ小さく、分子の数が多ければ受ける力も大きくなります。また、2 種類以上の気体分子が動き回っている時には、それぞれの気体が壁に衝突して圧力を与えますから、それぞれの気体が持つ圧力の和に等しい圧力を壁は受けることとなります。相互作用をしない気体物質 A と B の挙動は式 4-11 に示す理想気体の状態方程式でそれぞれ良く近似されますが、この 2 種の気体の物質を同じ容器の中に混ぜ合わせる時には、当然温度も体積も等しくなりますから、その物質の成分比（モル比）は式 4-12 で表されます。ここで容器の受ける圧力はそれぞれの圧力の和に等しくなり、個々の P_a と P_b は気体の物質 A と B 由来の圧力で分圧と呼んでいますが、物質の成分比はこれらの分圧の比に等しくなります。例えば、地球の表面での大気圧は 1010hPa (101000Pa、1 気圧) ですが、その大気は主に窒素と酸素の 4:1 のモル比の混合物で、ほかに少量のアルゴンが含まれていますから、それらの気体は室温付近ではそれぞれ約 790hPa と 213hPa と 9hPa の分圧を持っています。これらの気体物質は室温よりはるかに低い温度の沸点を持っていますから、多少の温度の変化に関係なく気体の成分比と分圧の比の関係は保たれます。

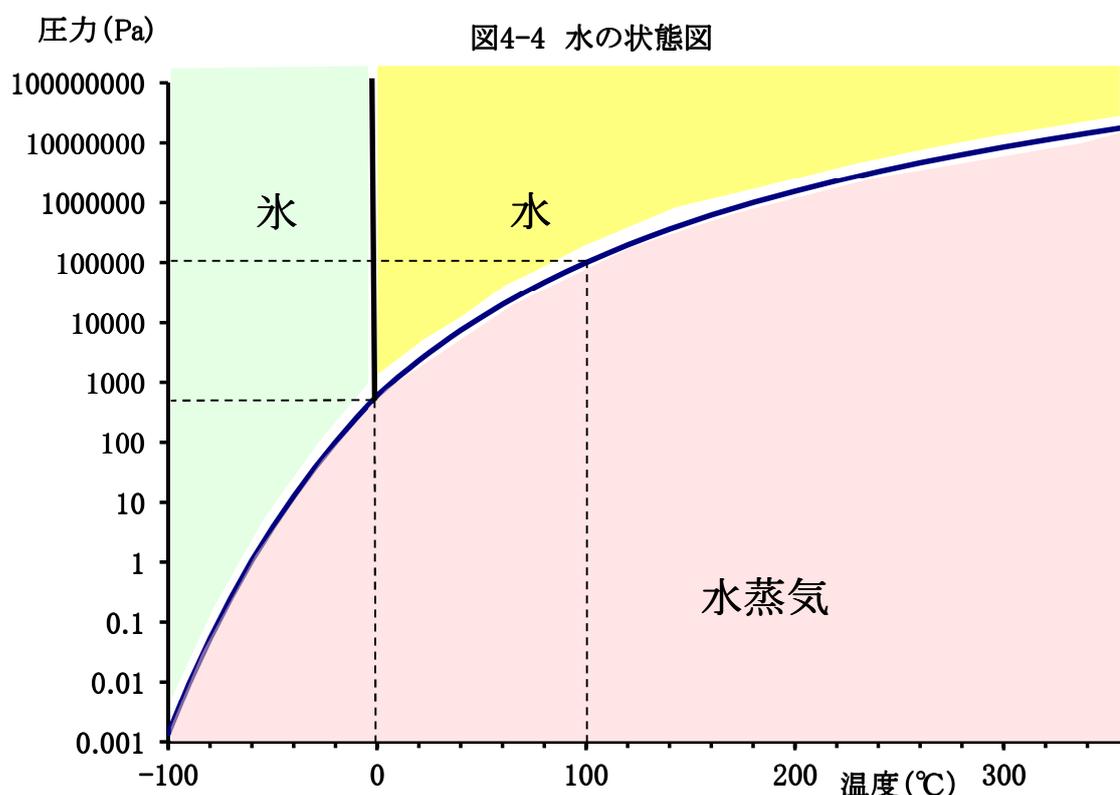
$$n_a = \frac{P_a V_a}{RT_a} \quad n_b = \frac{P_b V_b}{RT_b} \quad \text{式 4-11}$$

$$\frac{n_a}{n_b} = \frac{P_a V_a}{RT_a} \cdot \frac{RT_b}{P_b V_b} = \frac{P_a}{P_b} \quad \text{式 4-12}$$

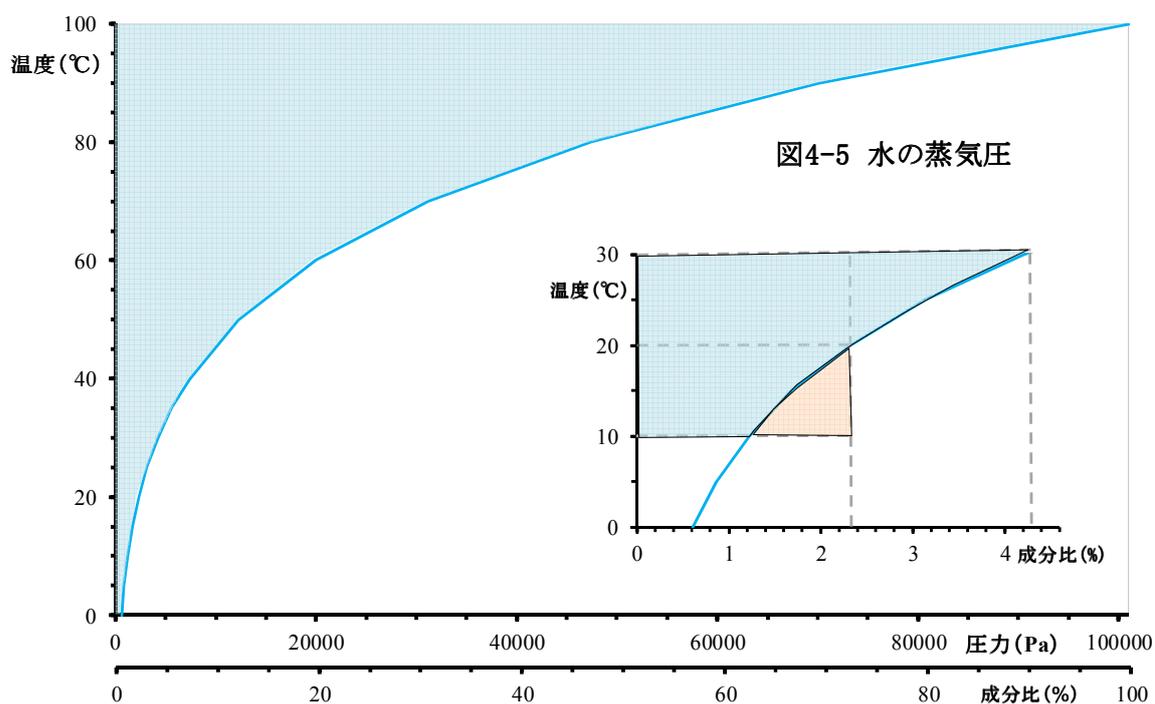
水は他の多くの物質と比較しますと異常と思われるほどに強い分子間力で相互作用していますから高い融点と沸点を示しています。しかし図 4-4 に示す水の状態図は水がいろいろな温度と圧力で氷、水、水蒸気の何れの状態にあるか示しています。地球の表面では酸素や窒素などの空気が約 1010hPa の圧力で覆っていますが、その時の水の状態は図 4-4 の圧力が 101000Pa の点を横に見ることにより、0°C で固体の氷から液体の水に変化し、

100°Cでは水から水蒸気に変化すると読み取れます。1010hPa よりも低い圧力の下では、水蒸気中の水分子の密度が小さくなりますから分子間力が小さくなり、水の沸点は 100°C よりも低くなります。実際、軽井沢や富士五湖のような高原では大気圧が低いために 100°C より 3°Cほど低い温度で水は沸騰します。

図 4-4 の温度が 20°Cの点を上に見てゆきますと、水蒸気の領域と水の領域の境目では 2340Pa の圧力で覆っている空気を押し退け約 2.3%だけ水蒸気を含むようになります。空气中に増加した水蒸気分圧は飽和蒸気圧と呼ばれる上限分圧の 2340Pa になりますが、同時に覆っている空気がわずかながら押し退けられますから、酸素や窒素やアルゴンなどの個々の分圧はそれぞれ 2.3%ずつ減少し、大気圧が 1010hPa に保たれます。このとき水の分圧は水の飽和蒸気圧ですから、それ以上には水は自由に水蒸気となって飛び出すことができず液体の状態で残ります。



しかし、対流や風により水を覆っている空気に含まれる水蒸気分圧が低下しますと、水蒸気の割合を保ち分圧が飽和蒸気圧になるように水は蒸発してゆきます。また、水は 100°Cに達すると気化した水蒸気は覆っている空気を押し退けますが、水の蒸気圧が大気圧 (1010hPa) より少しでも大きな場合には、大気圧で水を覆っている水蒸気まで押し退けて水蒸気は周囲に拡散してゆき大気圧が保たれます。このようにして水蒸気の気化と拡散により常に平衡状態に達しますから、完全に水が気化するまで水蒸気への変化が進行し続けま



す。この状態を沸騰と呼び、この時の温度を通常は沸点と呼んでいます。

空気中の水の分圧の上限となる飽和蒸気圧 P は式 4-10 のように温度 T の上昇と共に大きくなりますから、大気圧に対する飽和蒸気圧の割合の変化を図 4-5 の水色線に示します。この水色線は上限を示すものですから、図 4-5 の水色領域で示すように各温度において水蒸気分圧は常に水色線より小さくなければなりません。砂漠においても太平洋上においても 20°C における水の飽和蒸気圧が 2340Pa ですから、大気圧 1010hPa に対する空気中の水蒸気分圧の割合は 2.3% 以上には上がりません。水蒸気分圧がこの飽和蒸気圧に近ければもはや水はあまり蒸発しませんが、水の飽和蒸気圧よりも非常に小さければ水は容易に蒸発して水蒸気になります。そのため、洗濯物の乾き方や喉の渇き具合など体感できる空気中の水の分圧 (e_w) が水の飽和蒸気圧 (E_w) に対する比率に密接に関係しますから、これを式 4-13 のように相対湿度 (RH) と定義して気象庁では時々刻々測定しています。

$$RH = \frac{e_w}{E_w} \times 100 \quad \text{式 4-13}$$

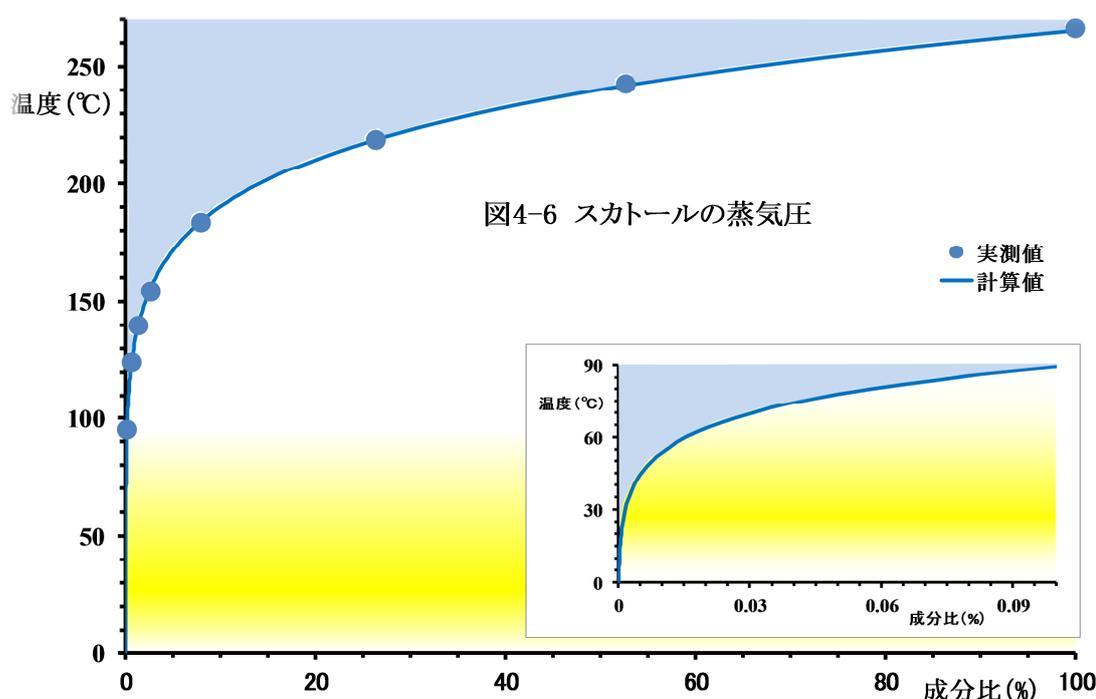
大気圧が 1010hPa の時に気温が 10°C 、 20°C 、 30°C と上昇しますと大気圧に対する水の飽和蒸気圧の割合はそれぞれ 1.2% 、 2.3% 、 4.2% と大きくなります。もし、大気圧 1010hPa 気温 20°C のときに、空気中の水の分圧の割合が 2.3% であれば湿度は 100% ですが、気温が 30°C に上がりますと水の飽和蒸気圧も大きくなりますから、水蒸気分圧が同じ 2.3% でも湿度は 55.2% まで下がります。逆に、気温が 10°C まで下がりますと水の飽和蒸気圧が小さくなりますから、湿度は 100% に保たれますがそれでも図 4-5 に淡赤色で示したように 1.1% の水蒸気もはや気体では存在できずに液化して水になります。その結果、霧となって空中に浮遊したり、葉の上や窓ガラスに結露したりします。

空気中の窒素と酸素とアルゴンの間の分圧の比は温度によりほとんど変化しませんが、地球上に液状で多量に存在する水は飽和蒸気圧が変化しますから、当然空気中の水の分圧も温度により変化します。気温の低い上空には雲ができ、液化した水が雨となって降下してきますが、同時に局部的に大気圧も低下しますから低圧部が生じ周囲から空気が吹き込みます。

1ppm でも十分に匂うスカトールの屁

物質の性質や分子量などにより差異がありますが、多くの物質はわずかずつ気化して気体の分子として周囲の空気中に拡散してゆきます。鼻はこれらの種々の物質が鼻孔から吸い込まれ、鼻の粘膜に接触して検出することにより種々の情報を得ていますが、空気中にわずかに含まれるこのような気体の分子や非常に細かい粉末の情報を整理して、その発生源となる物質の所在や性質を推測します。例えば、スカトールの匂いがほのかに匂えばどこかにイタチがいるとわかりますし、強烈に匂えばイタチが最後っ屁をして逃げたと考えられます。そこで、人間が鼻で嗅いで感じる匂いの物質の量から嗅覚の感度を調べてみましょう。

空気中の窒素と酸素とアルゴンの間の分圧の比は温度によりほとんど変化しませんが、水は飽和蒸気圧が変化しますから当然空気中の水の分圧も温度により変化します。水は地球上で最も普遍的に存在し、最も人間生活に密接に関係する物質ですから、いろいろの温度や圧力における水の状態について詳細に調べられています。しかし水以外の気体になりやすい多くの物質の飽和蒸気圧については必ずしも十分な結果が測定されているわけでは



ありません。多くの場合に、いくつかの測定結果から式 4-10 の ΔH と C を求め、絶対温度 T における飽和蒸気圧 P を外挿します。例えば、実験で求められているスカトールやイタチが放る屁の匂い物質のスカトールの飽和蒸気圧を式 4-10 に当てはめると、式の ΔH と C がそれぞれ 15.21kcal/mol と 1.48cal/mol・K と求められます。この測定値と見積もられた外挿値から大気圧に対する飽和蒸気圧の割合を図 4-6 に示します。この図からスカトールがかなり高い温度までほとんど気体にならないと視えますが、日常生活で匂い物質が発生する温度領域を併せて黄色く示しておきます。

特に、人間が通常生活している温度領域について、スカトールの飽和蒸気圧の外挿線を図 4-6 の右下に拡大して示しましたが、25°Cの室温において大気圧に対するスカトールの飽和蒸気圧の割合が 0.001%に過ぎないことが読み取れます。このことを式 4-12 に当て嵌めると、スカトールの空気中の濃度が 0.001% (10ppm) 以上には高くないことを意味します。言い換えれば、空気中に 10ppm 含まれるだけで、嗅覚はスカトールの臭いをきわめて強く感じますし、1ppm よりも低い濃度のときに良い香りに感じられ、香水に利用されていることとなります。東京と大阪の間の距離約 500 km に対して 50cm の長さが 1ppm に相当しますから、スカトールの匂いが極めて微量で感じられ、人間の嗅覚の感度の極めて高いことがわかります。

僅か 170 個の分子に感じる雌の蚕蛾の魅力

人間は他の動物に比べて優れた視覚を持っていますし、際立った天敵や対処できない害毒もあまりありませんから嗅覚がかなり退化していますが、嗅覚により得られる情報が思考や行動を主に支配している動物もいます。犬の嗅覚は平均して人間の 1000~10000 倍程度と考えられていますが、特別の物質に対しては人間の 1 億倍まで感知できるようです。人間の嗅覚では 1ppm 以下の匂い物質まで感知できることがわかりましたがさらにその $10^3 \sim 10^8$ 倍ですから、犬の嗅覚は空気中に含まれる $10^{-7} \sim 10^{-12}$ % の物質まで感じられるようです。室温においては 1L の瓶の中に入っている空気の分子の数は約 10^{22} 個ですから、1L の中に約 10^{10} 個の匂い物質の分子があれば犬は匂いを認識できることとなります。



図4-7 警察犬クリスの匂い嗅ぎ分け訓練

毎朝の散歩の折、わが愛犬は性フェロモンと道標フェロモンを認識するために鼻を地面に擦り付けながら、近くのお気に入りの公園にまで連れて行ってくれます。そこには近隣に住む多くの犬が遊びに来ますが、それらの中にクリスという名のシェパードの警察犬が調教を兼ねてしばしば遊びに来ます。遊んでいる多くの犬を気にしながら長い時間伏せの姿勢で待機したり、等間隔に立てた数本の旗の間を縫うように駆け抜ける訓練をします。図 4-7 の写真のように 5 つの入れ物にそれぞれちり紙を 1 枚ずつ入れて並べておき、その中の 1 枚にかすかに匂いを付けておきます。同じ匂いを嗅がせてから入れ物のそばに行かせて匂い付けしたちり紙を探す訓練をしています。犬の嗅覚は格段に高い感度を持っていますから、人間には全く真似のできない犬の特技のようです。

1961 年に Butenandt は 15000 匹以上の蚕蛾からボンビコールとボンビカルを少量ずつ取り出すことに成功し、それぞれ図 4-8 に示す炭素 16 個からなるアルコール類とアルデヒド類の分子構造を持つことを明らかにしました。ボンビコールは雌の蛾が放出しますと雄の蛾が触角で感知し、配偶者を探して交尾するような行動を触発する性フェロモンですし、ボンビカルはその行動を抑制する性フェロモンです。ボンビコールと性質の類似したヘキサデカノール ($C_{16}H_{33}OH$) の

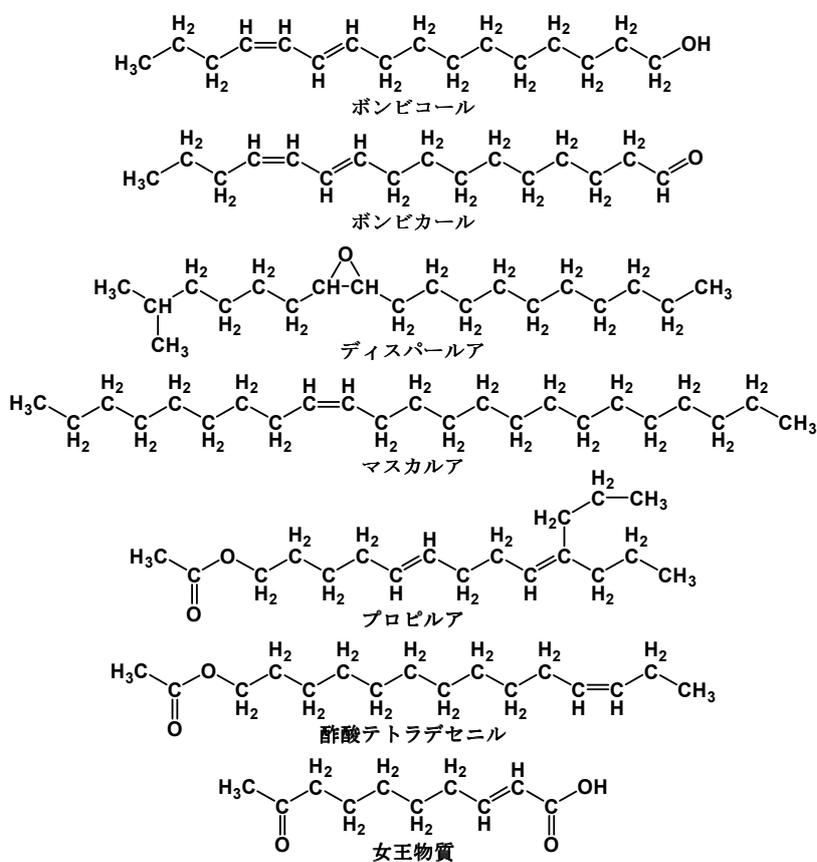


図4-8 昆虫の性フェロモン

飽和蒸気圧は $25^{\circ}C$ において大気圧に対して 2ppm に過ぎないと式 4-10 から外挿できますから、このボンビコールを皿に 1 滴入れてそよ風の吹く庭において置きますと、皿の付近でもボンビコールの空気中の濃度は約 2ppm と考えられます。ボンビコールの分子量 238 を式 2-3 に代入しますと、気温 $25^{\circ}C$ のとき分子の運動平均速度 177m/s で四方に拡散してゆきます。さらに、このように極めて低い濃度のボンビコールが拡散してゆくとき、数km離れたところにいる雄の蚕蛾が触覚で感知して集まってくることを Butenandt は実験で証明し

ました。皿の近くで空気中に 2ppm しか存在しないボンビコールが半径数kmの円内に拡散するのですから、雄の蚕蛾の触角に接触する分子の数は極めて少ないものと思われます。実際、約 170 個のボンビコールの分子が接触すると雄の蚕蛾は感知し、配偶者を探して交尾するための行動をとると Butenandt が見積っています。

この蚕蛾の性フェロモンの発明に触発されて多く研究者が種々の昆虫の性フェロモンを研究し、図 4-8 に示すような種々の性フェロモンを明らかにし、誘惑するという意味のルア (lure) を接尾語とする名前を付けました。ディスパールアは大量発生により森林を食い荒らしてしまうマイマイ蛾の性フェロモンですし、マスカルアはイエバエの性フェロモンです。綿花を食い散らすためにワタの栽培に大きな被害をもたらすワタアカミムシの性フェロモンはプロピルアと呼ばれています。酢酸テトラデセニルは野菜や果物や草花の葉を食い荒らすハスモンヨトウの性フェロモンと明らかにされました。さらに、女王物質と呼ばれるものは働蜂を集めて群れを作るために女王蜂が出すフェロモンですが、同時に働蜂の生殖能力を抑えるホルモンの働きもします。

蚕蛾は昆虫ですから嗅覚ではなく触覚で空気中の気体物質を感知していますが、犬の鋭敏な嗅覚の感度と比較しても、蚕蛾の触角は 10^9 倍ほど鋭敏な感度を持っています。現代の化学技術を用いれば、ボンビコールなどの性フェロモンは人工的に調製することができますから、雄の蚕蛾を集合させることができ、容易に駆除したり繁殖させたりすることができます。因みに、質量分析計はこのような気体の物質を測定する最も感度の高い測定機器ですがその測定に必要な分子の数は約 10^6 個ですから、人間が開発した最先端の測定機器は犬よりは少し鋭敏で蚕蛾よりはかなり劣っていることになります。

5. 匂いを生かすも殺すも温度次第

匂い物質の空気中の上限の濃度

第4章で取り上げたスカトールの例からもわかるように、実測で求められている飽和蒸気圧を式4-10に当てはめると ΔH と C が求められますから、大気圧に対する飽和蒸気圧の割合を外挿することができます。種々の匂い物質とその関連物質に関して、このようにして求めた ΔH と C の値を別表にまとめましたが、その時の実測値に対する式の相関係数も併せて掲げておきます。表中には相関係数が0.999以下の多少信頼性の低いものも含まれていますが、多くの物質について信頼性の高い外挿値が得られるものと思われます。別表には腐敗臭や体臭などの臭みやそれを打ち消す良い香りや食欲を増進する匂いの素になる化合物をはじめ日常生活に密接に関係する575種類の化合物に関して、すでに実測で求められている飽和蒸気圧を式4-10に当てはめて求めた ΔH (kcal/mol) と C (cal/mol・K) をその相関係数とともに掲げておきます。それらの物質の中で匂い成分と思われるものについては、エステル類、モノテルペン類、セスキテルペン類、芳香族化合物、アミン類、硫黄化合物、複素環化合物をそれぞれ灰色、緑色、青色、赤色、水色、黄色、紫色に色分けしてに大まかに別表に分類しました。また、それらの匂い成分が主に存在する物質の名前も列挙しておきました。

室温において空気中に含まれる物質の気体が花や果物の香りとなって匂いますし、体温において気体となる物質が口に含んだ時に気体となる物質を食べ物の匂いと感じ、身体から気体となって発散する物質が体臭や香水として匂います。過去30年間の東京の平均気温は16.5℃ですし、人間の平均体温は36.5℃ですから、人間の日常生活の匂いを考えるために、大気圧(1atm、1013hPa)を1とするときの25℃の温度におけるそれらの物質の飽和蒸気圧をこの求められた式4-10の係数 ΔH と C の値から外挿して別表に掲げます。また、食べ物を煮たり蒸したりするときの調理温度は人間生活に関係深い水の沸点の100℃ですし、パンを焼いたり食材を炒めたり揚げたりする調理温度は約180℃です。この温度領域で蒸散することなく食べ物に残留しなければ食物の風味が料理の中に残りませんから、100℃と180℃の温度におけるそれらの物質の飽和蒸気圧も外挿して別表に掲げます。また、護摩や香を焚いて神秘の世界を演出したり、食べ物を燻製するために木材の成分を気化させるために、多くの物質が炭化や分解により変化する温度は300℃以上ですから、300℃における物質の飽和蒸気圧も外挿して別表に掲げます。

大気圧に対する飽和蒸気圧の割合は空気中に含まれる気体の状態の物質の上限量を示すものですから、空気中における分圧が飽和蒸気圧に達するまで液体や固体の状態の物質は気化を続けますが、液体や固体の状態の物質が無くなった時にはじめて空気中の分圧の上昇も止まります。対流や風による拡散で空気に含まれる物質の分圧が低下しますと、物質の割合を保ち分圧が飽和蒸気圧になるように、物質の気化が続きどんどん蒸発してゆきます。図4-5からわかるように、25℃における水の飽和蒸気圧の割合は3.14%に過ぎません

から洗濯物の周囲では水の分圧は短時間に飽和蒸気圧に近づきますが、風が吹きますと湿度の低い空気が吹き込んで洗濯物の周囲の水の分圧を下げてしまいますから、周囲の水の分圧が飽和蒸気圧に近づくようにさらなる水の蒸発が続き洗濯物は急速に乾きます。また、飽和蒸気圧が 1atm 以上の値を示すものは気化した物質が覆っている空気を押し退けて周囲に拡散してゆき大気圧が保とうと完全に物質が気体になるまで気化し続けます。この状態を沸騰と呼び、飽和蒸気圧が 1atm 以上の値を示すものはその温度よりも低い沸点を示しており、物質単体では液体や固体の状態で存在しないと考えられます。

室温や調理などの生活温度より低い沸点の物質も水やエタノールなどの溶媒に溶けている場合や、生物の細胞の中などに閉じ込められているときには気体にならずに存在できますが、溶媒が蒸発したり細胞が破壊されると即座に気化します。例えば、メチルアミンの沸点は -6.3°C ですから室温 25°C では気体ですが、鰯の塩辛や犬の尿の中に検知されていますし、ある種のミントの中にも存在が確認されています。当然、塩辛や尿が空気中に晒されれば、メチルアミンが即座に気化しますから特有の匂いを発します。同じようにメタンチオールも 6.2°C ですから室温では気体の状態で存在しますが、尿の中に溶け込んでいるメタンチオールは放尿とともに始めて強い悪臭を発します。

鼻は気体の物質が接触した時に匂いを感ずりますが、空気中のその物質の分圧が高いほどその匂いを強く感ずりますから、物質の空気中の上限濃度にあたる飽和蒸気圧は物質の匂いの性質に大きな影響を与えます。図 4-6 に示したスカトールの例からもわかるように、式 4-10 で外挿される蒸気圧は低い温度では小さく温度の上昇とともに大きくなる傾向を持っています。冬の北海道では -20°C 以下にも冷え込みますし、埼玉県熊谷や岐阜県多治見では夏には 40°C を超える高温になることもあるように、日本では地方によっても季節によっても気温が大きく変化します。また、アイスクリームや夏の甲子園の名物のかち割りは氷点下に冷えた食べ物ですし、グラタンや鍋料理は 100°C に煮えたぎっています。さらに、てんぷらやフライは約 180°C の油の中で揚げますし、レストランでは料理の匂い付けとして加えるお酒からアルコール分を除くために鍋に火を入れてフランベします。このように日常生活の中でも大きな温度差がありますから、環境により大気中に含まれる匂い成分の量も大きく異なりますし、料理法により食べ物の匂いの強さも大きく変化します。甘い香りの花や果物、腐敗した肉や魚、爽やかな香りの香草、心を落ち着ける香木など種々の匂い物質は性質や分子量などの違いにより飽和蒸気圧が異なりますから、当然、匂い成分を日常生活で生かすも殺すも利用する温度に依ります。

人々を錯覚させるガス臭い匂い

地球を覆っている大気は主に酸素と窒素で構成されていますが、そのほかにアルゴンや二酸化炭素もわずかに含まれています。伊豆七島の三宅島は 2001 年 8 月 26 日に噴火を始めましたが、1 ヶ月後には噴火の最盛期になり、噴出した二酸化硫黄は 1 日に 60,000 トンにもおよび、この二酸化硫黄を含む気団が風に乗って 300km も離れた神奈川県や静岡県に

までしばしば流れてきて特有の匂いをもたらしました。また、地中から温泉とともに硫化水素が噴出してきますから、草津温泉の湯畑や箱根の大涌谷ではゆで卵の匂いを持つ硫化水素の大気中濃度がかなり高くなっています。このように大気中には種々の気体が含まれていますが、四日市の石油コンビナートから大量に排出された二酸化硫黄や隅田川の川底から発生したメタンガスやメタンチオールなど世界的な工業化に伴う複雑な生産活動により種々の気体が副生するようになってきました。

19世紀初頭には英国で大きなガスタンクに接続した配管を通して、ガス灯やガスレンジとして燃料用の気体が配送されるようになってきました。当時用いられていた燃料用の気体は灼熱した石炭に水を加えて発生させた水性ガスと呼ばれるもので、水素ガスと一酸化炭素を多く含んでいます。この配管を通して各家庭に燃料用の気体を供給する都市ガスの施設は多くの都市で作られてゆきました。その後石炭に代わり石油や天然ガスが大量に採掘されるようになり、都市ガスの成分も水性ガスから炭素数の少ないメタンやエタンなどの飽和炭化水素に置き換えられてゆきました。また、都市部以外の地域では人口密度が低く、都市ガスの配管を完備することが経済的な採算を難しくしますから、ボンベに詰めたプロパンガスを燃料用の気体として利用しています。

このように多くの気体が日常生活の中に存在し利用されていますが、強い毒性を示すものや極めて引火性が高く爆発を誘発しやすい気体もあり、人間にとって必ずしも安全で無害なものばかりではありません。窒素や酸素や二酸化炭素やアルゴンは高濃度でない限り人間にとってほとんど危険性も毒性も示さない気体ですが、水素ガスや一酸化炭素や炭素数の小さな飽和炭化水素は誤って引火すると爆発的に燃焼する気体です。また、一酸化炭素や二酸化硫黄や硫化水素は非常に強い毒性を示す気体ですから、極めて低い濃度においても死亡事故を招く危険があります。これらの気体のなかで最も大きな値を持つ二酸化硫黄の分子量は64ですが、この値を式2-3に代入しますと二酸化硫黄の分子の運動平均速度は毎秒342mと算出されますから、日常生活を取り巻く他の気体はさらに速く拡散すると考えることができます。

これらの日常生活に関係深い気体はいずれも無色透明ですから、目で見てもその存在を全く確認することができません。これらの気体の可燃性や毒性の危険を注意喚起するために、気体を入れるボンベと呼ばれる鉄製の容器はそれぞれ固有の色に着色されています。爆発を伴って最も引火しやすい水素ガスとアセチレンの容器はそれぞれ赤色と褐色に、毒性の高い塩素ガスとアンモニアガスはそれぞれ黄色と白色に塗られています。燃焼を助けるために火災を煽る酸素ガスは黒色に、生ビールのサーバーやドライアイスなどに用いられて生活に密接に関係する二酸化炭素は緑色に塗られています。それ以外の気体の容器は灰色に着色されています。数種類の気体はボンベの色で識別できますが種類に限りがありますから、一酸化炭素やメタンガスなど非常に危険な気体でありながら、多くの気体に対して目で認識できません。

都市ガスの場合には、個々の容器を用いず大きなガスタンクから各家庭まで配管により

可燃性の気体を配送していますから、管の繋ぎ目などの中間部分で漏洩する危険を伴います。また、燃焼中のガスレンジの火が風や煮こぼれた水により消火しますと、燃焼しないままにガスレンジから漏れ出た可燃性の気体は周辺に充満してしまいます。1960年代までの都市ガスは極めて引火性の高い水素ガスと極めて有毒な一酸化炭素を含む水性ガスを配送していましたが、その後都市ガスは水性ガスから炭素数の少ない飽和炭化水素を成分とする石油ガスや天然ガスに置き換えられ、毒性を持たない都市ガスに改良されました。しかし、高い引火性を持つ都市ガスがひとたび大量に漏洩しますとわずかな火花でも引火し爆発を誘発します。

都市ガスで用いられる気体は極めて引火性が高く危険なものですが、いずれも無色無臭の気体で、都市ガスの漏洩や充満を察知することが極めて困難でした。呼吸をする時に外気が通り過ぎる鼻の中にある嗅覚は匂いの情報を得ることに特化した感覚で、睡眠中でも呼吸をしていますから空気中に含まれる物質と接触してその存在を認識します。このように、嗅覚は不意に起こる状況の変化の情報を的確に捉える傾向がありますから、都市ガスの漏洩により起こる危険を察知することに適しています。そのため少しでも都市ガスが漏洩した時には即座に不快感を催して危険を察知するように、非常に不愉快に感じる臭い匂いを持つ付臭剤を都市ガスに混ぜて漏洩の危険を知らせるようにしています。

ギネスブックで世界一臭い物質として認定されているメタンチオールやエタンチオールは室温でも非常に高い蒸気圧を持っていますから、北海道の極寒地のように非常に低い気温でも気体として高い濃度に保つことができますし、蛋白質の腐敗により発生する物質ですから顕著な毒性を示しません。都市ガスを供給するガス会社では、このような特性を持つチオール類を付臭剤として用いていました。結果として、本来無色無臭の都市ガスが独特のガス臭い匂いを持つと多くの人々に錯覚されるようになりました。しかし燃料用の気体として燃焼するときに、都市ガスに混入したチオール類は二酸化炭素と水のほかに二酸化硫黄を排ガスとして発生します。四日市ぜんそくの原因物質として大きな公害問題に発展したように、二酸化硫黄は人間にとって有害な物質ですから、少量といえども都市ガスに付臭剤としてチオール類を添加することは適当ではありません。

不飽和炭化水素はチオール類と比較的類似の臭みを持ち、燃焼しても二酸化炭素と水しか発生しませんから、現在では小さな分子量で蒸気圧の高い不飽和炭化水素が付臭剤として用いられています。別表に掲げてあるブタジエンやシクロペンタジエンはいずれも分子量が小さく室温においても高い蒸気圧を示しますから、これらの不飽和炭化水素が実際に付臭剤として用いられています。著者はしばしばシクロペンタジエンを用いた研究をしてきましたが、その度ごとに周囲の人々がガス臭いと感じて都市ガスの漏洩を心配してくれました。

冷たいアイスクリームやかき氷やビールの匂い

波間に遊ぶ千鳥を背景に氷と赤く染め抜いた旗を店先に吊るした光景は猛暑の中のオ

アシスを思わせますが、この旗で象徴されるかき氷には緑色のメロンか赤色の苺か黄色のレモンのシロップが掛っています。メロンシロップは緑色に着色しブタン酸エチルやフェネチルアルコールや 3-ヘキセノールなどで匂い付けした砂糖水ですし、苺シロップは赤色に着色し酢酸エチルやブタン酸メチルやカブロン酸メチルなどで匂い付けしたものですし、レモンシロップは黄色に着色しリモネンやシトラールやネラールなどで匂い付けしたものです。どぎつい色と薬臭い人工香料で匂い付けしたこれらのシロップを 0°Cの氷にかけますと、凝固点降下の現象によりかき氷の温度は約-5°Cまで下がりますから、妙に懐かしい感じのする清涼飲料です。

シロップに含まれる香料がこのような低温においても適度の蒸気圧を持っていなければ、かき氷は懐かしい匂いを発しません。別表に掲げたこれらのシロップに添加されている香料の ΔH と C を式 4-10 に当てはめて算出した 0°C と 25°C における飽和蒸気圧の大気圧に対する割合を表 5-1 にまとめました。この表でメロンと苺とレモンのシロップに添加されている香料をそれぞれ緑色と赤色と黄色に色分けしましたが、0°C においても、かなり高い蒸気圧を持っていますから、苺のかき氷は食べる前から匂いが立ってきます。これに対して、レモンのかき氷は食べる前にはあまり強い匂いがせず、口に含まれた香料が体温で温められて初めて匂いが感じられます。

表 5-1 清涼飲料の中の香料

アイスクリームではバニラ味が最も好まれていると思いますが、バニラの主な香り成分はバニリンと呼ばれる芳香族化合物で、0°C におけるその飽和蒸気圧の大気圧に対する割合は表 5-1 に示すように 0.00004% (4ppm) に過ぎませんから、食べる前にはあの甘ったるい香りはほとんど立ちません。口に入れて初めてバニラの香りが口の中に広がるといいます。苺の香り成分の酢酸エチルや

物質名	分子式	成分比 (%)		
		0°C	25°C	100°C
酢酸エチル	C ₄ H ₈ O ₂	2.99191	11.62095	228.710
酪酸メチル	C ₅ H ₁₀ O ₂	0.93330	4.00567	98.160
酪酸エチル	C ₆ H ₁₂ O ₂	0.50356	2.17137	53.758
カブロン酸メチル	C ₇ H ₁₄ O ₂	0.09394	0.48858	18.256
リモネン	C ₁₀ H ₁₆	0.05353	0.27128	9.577
ミルセン	C ₁₀ H ₁₆	0.05197	0.27136	10.228
フェネトール	C ₈ H ₁₀ O	0.03914	0.21637	9.246
ベンズアルデヒド	C ₇ H ₆ O	0.02344	0.14161	7.350
ヘキサノール	C ₆ H ₁₄ O	0.02087	0.14828	10.997
リナロール	C ₁₀ H ₁₈ O	0.00936	0.06226	3.321
メントール	C ₁₀ H ₂₀ O	0.00201	0.01614	1.558
シトラール	C ₁₀ H ₁₆ O	0.00154	0.01191	1.065
ネラール	C ₁₀ H ₁₆ O	0.00154	0.01191	1.065
ゲラニオール	C ₁₀ H ₁₈ O	0.00074	0.00652	0.767
バニリン	C ₈ H ₈ O ₃	0.00004	0.00044	0.090

ブタン酸メチルやカブロン酸メチルなどの脂肪酸エステル類が表 5-1 でも明らかなように比較的高い分圧を持って気体になりますから、ピンクのアイスクリームは食べる前から苺の香りを感じられると思います。同じようにラズベリーやブルーベリーなどの果物で味付けされたアイスクリームも比較的高い香りを漂わせると考えられます。

このように、果物の香りの成分が低い温度においても比較的高い蒸気圧を示しますから、果汁を凍らせたシャーベットは食べる前から香りが立ち清涼作用をもたらします。フルコースのフランス料理では魚料理と肉料理の間にしばしば口直しとしてミントやレモンのシャーベットが出てきます。甘い匂いのシャーベットでは前後に供せられる肉や魚の料理の味や香りを壊してしまい、口直しの働きをしません。ミントの主な匂い成分はモノテルペンのメントールですし、レモンの匂い成分のリモネンやシトラールやネラールもモノテルペンですが、これらのモノテルペン類は表 5-1 に掲げたように低い温度において蒸気圧が低く食べるまではほとんど香りを立てません。ミントやレモンのシャーベットを食べた時に初めて爽やかな匂いが口の中に広がりますから、魚の生臭さを消し口直しができます。

杏仁豆腐は喘息に薬効のある杏の種の中の仁を美味しく服用できるようにした食べ物でしたが、中国料理のデザートとして果物の砂糖煮とともに冷やした杏仁豆腐がしばしば食卓を賑わすようになってきました。杏仁と類似した香りを持つアーモンドで香り付けしたプリンが広く杏仁豆腐として普及していますが、この香り成分は主にベンズアルデヒドです。このベンズアルデヒドは表 5-1 に掲げたように低い温度でも比較的高い蒸気圧を持っていますから、杏仁豆腐は冷やしても独特の甘い香りが立ちます。

日本で広く飲まれているラガービールは大麦の麦芽糖にホップを加えて発酵熟成して醸造しますから、ホップに含まれるリナロール、ゲラニオール、ミルセン、カリオフィレン、フムレン、フムレノール、オイデスマール、ファルネセンなどのテルペン類が独特の香りを醸し出します。特に表 5-1 に褐色で色分けしたミルセンとリナロールとゲラニオールは比較的高い蒸気圧を示すモノテルペン類ですから、ビールは冷やしても芳しい香りを立てます。

お茶の飲み頃

お茶の飲み頃の温度は非常に微妙なようで、天下分け目の関ヶ原の合戦に西軍の総大将を務めた石田三成の若い時代の逸話が残っています。豊臣秀吉が滋賀県長浜の新しい領主となって領地を巡回した折に、寺の小坊主の三成がはじめにぬるめのお茶を差し出し、2杯目は熱いお茶でもてなしたという話です。匂いが高く一気に飲み干せる温いお茶は乾いた喉を快く潤し、熱いお茶はしみや旨みの濃い美味しい味を持っていますから、三成のこの繊細な気遣いが秀吉に気に入られて、三成は豊臣家の中心的な家臣に成長していったとされています。

中国南部が原産のお茶は紀元前 200 年ごろに薬用に飲まれるようになり、全世界に普及しました。お茶には図 5-1 に示すような構造式を持つタンニン、テアニン、カフェイン、

ビタミンCを多く含んでいますが、主に4種のタンニンは茶カテキンとも呼ばれ止瀉と整腸の作用を持っています。テアニンはグルタミン酸と類似のアミノ酸で旨味があり興奮を抑える働きをし、カフェインは覚醒、解熱、鎮痛、利尿など種々の作用を持つために多くの風邪薬にも入っています。

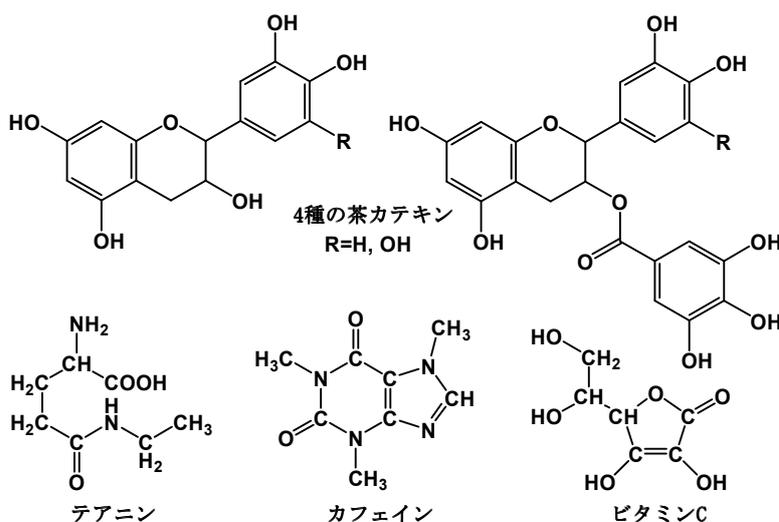


図5-1 お茶の薬効成分

ビタミンCは抗酸化作用を

持ち人間の体内ではコラーゲンの生成など多くの働きをしています。さらに、ヘキセノールなど20種類以上の匂い成分が含まれていますが、中でもリナロールとゲラニオールは2種のモノテルペン類がお茶の香りを特徴づけているようです。茶葉の産地によりこのリナロールとゲラニオールの割合は大きく異なり、インドやスリランカやマレーシアなどに産する茶葉にはあまりゲラニオールが含まれていません。これに対して国内産の茶葉は産地や種類により多少の違いがありますが、比較的ゲラニオールを多く含んでおり、リナロールとゲラニオールの割合は約1:2です。

お茶はこのように種々の薬効を持つ成分を含むものですが、その葉はあまり食べ易い物ではありません。その上これらの薬効成分は何れも水によく溶けますから、昔の中国でお茶は水で抽出してクスリとして飲むように考えられました。急須やティーポットにお茶の葉を入れてお湯を注ぎますと、お茶の薬効成分が抽出されてお湯に溶け出していきます。最後に茶漉しなどでお茶の葉をろ過して、1杯のお茶が淹ります。しかし、これらのお茶の成分も抽出の効率が温度により異なりますから、番茶は煮立ったお湯で美味しく淹れられますが、煎茶は高温のお湯では苦味の成分が多く抽出されてしまいますから、若干低温のお湯で淹れる方がお茶の甘味や香りを楽しむことができます。

お茶の香りを特徴づけているリナロールとゲラニオールの中でリナロールは表5-1に掲げたようにゲラニオールより10倍ほど蒸気圧が高く気体になり易い性質を持っています。そのため温度が低くぬるいお茶では甘みのあるリナロールの香りが強く立ち昇りますが、熱いお茶では爽快感のあるゲラニオールの香りが強くなると思われます。これらのモノテルペンの匂い成分は100℃ではかなり高い蒸気圧を持っていますから、熱湯で煎じるだけで含まれるリナロールもゲラニオールもほとんど気化してしまい、茶葉にはほとんど香り成分が残りません。一度煎じたお茶をもう一度煎じなおすことを二番煎じと呼んでいますが、薬用成分や旨みや香りの成分は一度目にほとんどすべて抽出されてしまいますから、二番煎じでは味も香りもないただの出廻らしになってしまいます。そのため他人の企画の

繰り返して独創性のない物真似のものを「二番煎じの企画」と軽蔑しています。

料理の香りを決める香草

鼻の中にある嗅覚は匂いの情報を得ることに特化した触覚で、呼吸をする時に通り過ぎる空気の中に含まれる種々の気体が接触してその存在を認識します。蒸気圧の高い物質は空気中に気体として多く存在できますから、当然嗅覚を強く刺激します。食材を煮炊きする調理温度は人間生活に関係深い水の沸点の 100℃ですし、パンを焼いたり炒めたり揚げたりする調理温度は約 180℃ですから、この温度領域で蒸散することなく食べ物に残留しなければ食物の風味が料理の中に残りません。また、護摩や香を焚いて神秘の世界を演出したり、食べ物を燻製するために木材の成分を気化させるために、多くの物質が炭化や分解により変化する温度は 300℃以上です。匂いのもとになる物質を含めて日常生活に密接に関係する 575 種類の物質について、人間の生活環境の温度の 25℃のほかに、調理に関係深い 100℃と 180℃と 300℃の温度におけるそれらの物質の飽和蒸気圧も外挿して別表に掲げます。この中には花や果実の香り成分のように低い温度でも気体になり易い物質もありますが、香辛料や香木の香り成分のように高い温度においても比較的気体になり難い物質もあります。

種々の花や果実に含まれる脂肪酸エステル類の飽和蒸気圧は 25℃においても 0.04～0.001atm の値を示していますから、春の比較的気温の高い季節には馥郁とした香りを周囲に撒き散らします。花や果実の匂い成分はこのように空気中において比較的高い濃度の気体で存在できますから、梅やバラを活けておけば室内は馥郁とした花の香りで満たされます。果物屋さんには春には苺の香り、夏には桃の香り、秋から冬にかけてはみかんなどの柑橘類やりんごの香りでお客を店内に誘い込みます。特に熟した果物は強烈な香りを発しますから、匂いを嗅いで食べ頃を見定めることができます。しかし、比較的高い揮発性を示し、低い温度でも気化しやすい花や果物の匂い成分は高温では急速に気化してゆきますから、匂い成分が容易に枯渇してしまい持続的には匂いを発しなくなります。苺やりんごやブルーベリーを砂糖とともに煮てそれぞれのジャムを作りますが、水分が多すぎるとはパンに塗っても流れ落ちてしまいます。ドロツとした適度の粘りになるまで煮詰めなければなりません。100℃で長い時間加熱すれば水分は蒸発しますが、香りの成分もどんどん気体になってしまいますから、煮詰め過ぎると本来の果物の香りのないジャムになってしまいます。例えば、苺の香り成分は主に酢酸エチルやブタン酸メチルやカプロン酸メチルなどのカルボン酸エステルですが、別表に掲げたようにそれらの 100℃における蒸気圧は非常に高く、特に酢酸エチルは沸点 77.1℃ですから完全に気化してしまいます。砂糖とともに苺を 100℃でぐらぐらと長時間煮詰めてゆけば、このように非常に気化しやすい匂い成分は溜去してしまい、香りの抜けた苺のジャムが残ります。その匂いを保ちながら果物を調理するときには、匂い成分が高い蒸気圧を持っているから火加減に注意することが肝要です。

第3章で調べたように胡麻を煎りますと、胡麻に含まれている糖分とアミノ酸が加熱されてメイラード反応が進行し、種々の匂い成分が生成しますから、炒り胡麻を絞ったごま油は独特の香ばしい香りを持っています。この香ばしい匂い成分の中には表 3-5 に掲げたように種々の炭化水素鎖が結合した多くのピラジン類が短い保持時間でクロマトグラフィーにより検出されています。一般に物質の蒸気圧とその物質のガスクロマトグラフィーの保持時間の間には深い関係があり、蒸気圧が高く気体になり易い物質ほどガスクロマトグラフィーの保持時間が短い傾向を持っています。香り高いごま油を高温で長時間調理しますと、ごま油に含まれる種々の匂い成分は蒸気圧が高く非常に気化しやすいため溜去してしまいごま油の特有の香りが失われてしまいます。そのため、食材を高温に加熱して炒める中国料理では、火から鍋を下し若干温度が下がった時にごま油を回し入れて匂い付けする調理法が用いられています。

胡椒はインド原産の抗菌や防腐や防虫の効果を持つ胡椒科の植物の種子で、ピペリンやフェランドレンやカリオフィレンなどの香り成分を含んでいますが、特にピペリンが胡椒の特有の香りを持っていると考えられています。このピペリンは $C_{17}H_{19}NO_3$ の分子式を持つ芳香族化合物で蒸気圧が低いために高温になってもあまり気化しません。そのため長時間にわたって加熱する煮込み料理においても、匂い成分はあまり溜去することがなく胡椒特有の香りが保たれます。さらに、 $100^{\circ}C$ 以上の高温に加熱される炒め物や揚げ物のような油を用いた調理法においても胡椒の香りが保たれますから、全世界で最も汎用的な香辛料として用いられています。このように食べ物の鮮度を保つ効果を持ち、肉料理には欠くことのできない汎用的な香辛料ですから、中世のヨーロッパでは金と胡椒が同重量で交換されたといわれています。

比較的気温の高いインドやバングラデシュやミャンマーやタイでは、食品が腐敗しやすいため防腐効果と殺菌効果と腐敗臭を消臭する効果を持つ多くの香辛料を加えた料理法が発達してきました。この料理法はカレー料理と呼ばれ全世界に普及し、日本でも最も多くの人に好まれる煮込み料理になりました。その特徴的な味と匂いを生み出すカレー粉はターメリックと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、味も香りも異なりますが、平均的にはターメリックとクミンのほかに、クローブ、シナモン、カルダモン、ナツメグ、オールスパイス、キャラウェイ、フェネル、フェヌグリーク、コリアンダー、コショウ、サフラン、ショウガ、ニンニクなどの多くの香辛料が調合されています。カレー特有の黄色の色素クルクミンを含むターメリックは生姜やウコンの仲間の植物で強い防腐効果を持っています。表 3-3 にまとめた種々の香辛料の薬効と匂い成分の表から、カレー粉に調合されている香辛料に含まれる匂い成分として、オイゲノール、サフロール、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、ミリスチシン、カルボン、リナロール、ピネン、ラニオール、デカナール、ピペリン、サフラナル、ジンギベリン、カンフェン、ネラール、ゲラニオールなどの種々のモノテルペン類とフェランドレン、カリオフィレンな

どのセスキテルペン類とシンナムアルデヒド、酢酸シンナミル、アネトールなどの芳香族化合物の含まれていることがわかります。

中国料理では防腐効果と殺菌効果と腐敗臭を消臭する効果を持つ香辛料としてシナモン、クローブ、フェンネル、スターアニス、花椒などが調合された五香が中国料理特有の匂い付けに用いられています。表 3-3 にまとめた種々の香辛料の薬効と匂い成分の表から、五香に調合されている香辛料に含まれる匂い成分として、オイゲノール、サフロール、メチルオイゲノール、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、エストラゴール、シネオールなどのモノテルペン類とフェランドレンなどのセスキテルペン類とシンナムアルデヒド、酢酸シンナミル、アネトール、シキミ酸などの芳香族化合物が含まれています。

別表からも明らかなように、カレー粉と五香に含まれている匂い成分の中にはかなり蒸気圧が高く気体になり易いものも含まれていますが、オイゲノールのように蒸気圧の低いモノテルペンのほかに多くのセスキテルペン類や芳香族化合物を含んでいますから、長時間にわたって加熱しても匂い成分はあまり溜去することがなく、煮込み料理や炒め物料理においても、これらの香辛料特有の香りが保たれます。このように非常に高い蒸気圧を持ち気体になり易い匂い成分を持つ食材もありますが、小さな蒸気圧を持ち気体になり難い匂い成分を含む食材もありますから、それぞれ最も適した調理法を選ばなければ香り高い料理にはなりません。

燻らせると匂う護摩と香

木材を炭化して木炭を製造するときに発生する気体生成物（煙）は大部分が水ですが、その他に 200 種類以上の化学物質が含まれています。木材の主成分のセルロースはブドウ糖が鎖状に繋がった高分子化合物ですが、ブドウ糖とブドウ糖を結び付けているアセタール結合が最も切断し易いため、炭焼きのように高温で加熱しますとオリゴ糖と呼ばれる少数のブドウ糖の結合した化合物に熱分解します。さらに、オリゴ糖の熱分解が進行しますと酢酸などの分子量の小さい脂肪酸を生成します。しかし、炭焼きの条件が酸素の供給の不十分な環境の下での熱分解ですから、脂肪酸ほどには酸化の進んでいない比較的還元状態のアルコール類やアルデヒド類やエステル類やケトン類も多く副生してきます。また、木材中に 20~30% 含まれるリグニンベンゼン環に水酸基の結合したフェノールを部分構造に持つ高分子化合物ですから、熱分解によりフェノールやクレゾールなどの芳香族化合物が生成してきます。

表 5-2 木酢液中の主成分

成分名	分子式	含有量(%)
酢酸	$\text{CH}_3-\text{CO}_2\text{H}$	5.56
ヒドロキシアセトン	$\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_2-\text{OH}$	1.00
プロピオン酸	$\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{CO}_2\text{H}$	0.54
酪酸	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CO}_2\text{H}$	0.12
フルフラール	$\text{C}_4\text{H}_7\text{O}-\text{CHO}$	0.06
フルフリルアルコール	$\text{C}_4\text{H}_7\text{O}-\text{CH}_2-\text{OH}$	0.03
フェノール	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{OH}$	0.07
3-メチル-2-ヒドロキシ-2-シクロペンテノン	$\text{CH}_3\text{C}=\text{C}(\text{OH})\text{CO}-\text{CH}_2\text{CH}_2$ └──────────┘	0.10
o-クレゾール	$\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$	0.02
p-クレゾール	$\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$	0.03
グアヤコール	$\text{CH}_3\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$	0.18
4-メチルグアヤコール	$\text{CH}_3-\text{C}_6\text{H}_3(\text{OCH}_3)-\text{OH}$	0.08
4-エチルグアヤコール	$\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_3(\text{OCH}_3)-\text{OH}$	0.01
その他		1.76
水	H_2O	90.45

炭焼きをするときに発生する気体生成物を凝集した後に、再度蒸留して極めて揮発性の高いホルムアルデヒドやアセトアルデヒドなどを取り除いた液体の留分が木酢液として市販されています。木酢液を製造する大幸 T E C 株式会社が報告している木酢液の成分を表 5-2 に掲げておきますが、黄色に表示した成分は主にセルロースに由来し、淡赤色に表示した成分はリグニンに由来したものと思われます。木酢液は酢酸を最も多く含んでいるために pH3 以下の強酸性を示しますが、その他にメタノール、ヒドロキシアセトン、フルフラール、グアヤコール、4-メチルグアヤコールなどを含んでいます。また、木酢液には少量ながら人体に有毒なクレゾールなどのフェノール類や発ガン性を示す 3,4-ベンゾピレン、1,2,5,6-ジベンゾアントラセン、3-メチルコラントレンなどの芳香族炭化水素も含まれています。

木酢液の製造過程で取り除いたホルムアルデヒドやアセトアルデヒドのほかに、木酢液の中に含まれる多くの成分が木材を燻したときに発生する煙の中に含まれると考えられますから、煙の中に食べ物を置いておきますと煙の成分が食べ物に付着します。煙の中にはクレゾールなどのフェノール類やベンツピレンなどの芳香族化合物が含まれていますが、これらの成分は人間にとっても微生物にとっても毒性を示す物質ですから、食べ物の外側に付着しますと腐敗を抑える効果を示します。そのため、燻製と呼んで食べ物を煙の中に置いて煙の成分を付着させ、食べ物を長期保存する技術が古くから行われてきました。

煙に含まれるフルフラールは若干焦げ臭い香りを持っていますし、クレゾールやフェノールは病院の匂いですが極微量ではストする好ましい香りです。さらにアセトアルデヒドは熟した柿のような甘い匂いがします。これらの芳しい香りの成分も食べ物に付着しますから、燻製を施した食べ物は独特の香りを持っています。用いる木材の種類により発生する煙の中に含まれる成分も微妙に異なりますから、食べ物を燻製するための適当な木材を選ぶ必要があると思われます。カナダのキングサーモンは樺の木を燻して発生させた煙で燻製し、オーストリアのチロル地方ではクリスマスツリーに使った樅の木で豚肉を燻製する習慣があると聞いています。通常の食べ物を燻製するときには甘い香りが強く付着する桜の幹を燻して燻製することが一般に好まれるようです。煙に含まれる成分が腐敗を引き起こす微生物にとって毒性を示すと共に酸化防止剤の働きを示すばかりでなく、容易にフェノールアルデヒド樹脂を形成することから、食べ物の長期保存のためには極めて有効な技術と考えられます。漬物の技術も食べ物を長期保存するための有効な技術ですから、両者を併せればさらに長期保存のために大きな効果が生まれます。豚のあばら骨の近くの肉の部分を塩漬けにして脱水と味付けをして、保存効果を持たせます。さらに表面の食塩を取り除いた後に燻製をしてベーコンを作ります。豚のあばら肉に食塩と香料と少量のアミノ酸を良く擦り込んで重石を載せながら約4日漬け込みます。流水で15分間表面の食塩などを洗い落とした後、70~80℃の比較的高い温度で桜の木を燻しながら4時間ほど燻製します。出来上がった自家製ベーコンは著者の朝食に欠かすことのできない食べ物で、冷蔵庫で2~3ヶ月は保存できます。

炭焼きのように酸素の供給の不十分な環境の下で木材を熱分解しますと、種々のアルデヒド類や芳香族化合物などの匂い成分が煙になって発散してきますが、小さな蒸気圧を持つセスキテルペン類や芳香族化合物などの匂い成分を木材中に含む香木の場合には、これらの匂い成分も煙に混ざって発散してきます。国宝の蘭奢待は中国から8世紀に渡来して正倉院に収蔵された沈香と呼ばれる香木で、室温ではほとんど匂いを発散しませんが1300年を経過した現在でも匂い成分を保持していると思われます。この沈香に限らず、白檀や乳香や没薬などの香木には図3-19に掲げたように種々のセスキテルペン類が含まれています。気体状態の情報が少ないのでヘレニンとカジネンとグアイオールの3種しか別表には掲げてありませんが、セスキテルペン類は200~250の分子量を持つ炭素数15からなる分子ですから室温では極めて低い蒸気圧しか示しません。これらの成分は100℃前後の温度で加熱してもあまり匂いを発散することはありませんから、炭火や焚火や蠟燭などの火の中で高温に加熱して燻すことにより、煙とともにこれらのセスキテルペン類は蒸発して気体となり匂い成分として香りを発散します。これらの沈香や白檀や乳香や没薬などの香木に含まれるセスキテルペン類の匂い成分は煙とともに心を鎮める香りの気体となったたなびきながら室内に拡散してゆきますから、炭火や焚火や蠟燭などの火の中で高温に加熱しますと荘厳な雰囲気醸し出します。

福や天使や御霊や正気は日常生活に必要で有益を齎すものと歓迎され、鬼や悪魔や怨霊

や邪気は危険や害毒を齎すものと忌み嫌われ特有の臭みを持っていると考えられてきました。臭みのもととなる脂肪酸やアミン類は水に比較的よく溶けますから、水で身体を清めて福や天使や御霊や正気

を歓迎します。また、分泌物の分解を抑え、良い匂いを漂わせると鬼や悪魔や怨霊や邪気を追い払うことができると考えられていました。インドの仏教では香を焚くと不浄を払い、心識を清浄にするとされ、花や灯明を仏前に供するとともに仏前で香を焚くことを供養の基本としています。日本の仏教寺院でも水屋あるいは手水舎で手を清め、護摩や抹香を焚いて焼香し、よい匂いを立ち込めて邪気を追い払います。彼岸の墓参りには手桶から墓に水をかけて清め、花を供え、線香を焚いて先祖の霊を祭ります。信仰深い人は毎日仏壇に陰膳を供え線香に火を点けて祈ります。カトリック協会では聖なる水によって清められるように灌水し、祈りが香のけむりのように受け入れられるように献香します。このように沈香や白檀や乳香や没薬などの香木を護摩や線香として焚いたり献香しますと寺社の伽藍や教会の中に荘厳な雰囲気醸し出しますから、信仰を深める効果を持っているようです。

エタノール溶液で保存される匂い成分

花や果物の匂い成分は主に脂肪酸エステルとモノテルペン類ですが、何れも蒸気圧が高いために新鮮な状態でもよい香りを発散しますが、加熱や長期間の保存に伴い匂い成分が気体として容易に散逸してしまいます。香草や香料の匂い成分は主にモノテルペン類ですから室温でもわずかながら蒸気圧を持ち、100℃前後の高温においても比較的低い蒸気圧を示すためにあまり散逸せず、長時間の加熱や長期間の保存にもその香りを発散し続けます。しかし、カレー粉や五香は種々の香草や香料を調合した調味料ですから、匂い成分の中にモノテルペン類のほかに種々の芳香族化合物も含んでいます。そのため、これらの匂い成分の中には蒸気圧が高く比較的散逸しやすい成分も、蒸気圧が低くほとんど散逸しない成分も含まれていますから、長時間の加熱や長期間の保存により微妙に匂いに変化してしまいます。また、香木の主な匂い成分は非常に蒸気圧の低いセスキテルペン類ですから、炭火や焚火や蠟燭などの火の中で高温に加熱して燻すことにより、煙とともに匂い成分が蒸発して気体となり香りを発散します。このようにして発散させた香木の匂い成分がひとたび衣服や建物に付着しますと逆に容易には散逸しませんから、香木の匂いが染み付いてしまいます。香りを発散させる条件が過激であり、しかも匂い成分が散逸し難いために、香りを立たせる環境は限られてしまいます。このように果物や花や香草や香料や香木には種々の匂い成分が含まれたおり、それぞれ蒸気圧に大きな差がありますから、香りを立たせる条件も香りが散逸する条件も異なります。これらの匂い物質は季節や地理的な違いにより入手困難や保存困難なことがしばしばありますから、使用環境の違いなどに応じて香りを常時楽しむことはかなり困難を伴います。

エタノールは水素結合し易い水酸基と水素結合し難い炭化水素部分を持つ分子構造に

表 5-3 食物に関係する化合物の溶解度

物質名	分子式	溶解度 (g/100mL)	
		水中	エタノール中
エタノール	C ₂ H ₅ OH	∞	
砂糖	C ₆ H ₁₁ O ₆ -C ₆ H ₁₁ O ₅	223.9	0.9
乳糖	C ₆ H ₁₁ O ₆ -C ₆ H ₁₁ O ₅	17	不溶
ブドウ糖	C ₆ H ₁₂ O ₆	100	難溶
果糖	C ₆ H ₁₂ O ₆	∞	6.7
グリセリン	HOCH(CH ₂ OH) ₂	∞	∞
ステアリン酸グリセリル	C ₁₇ H ₃₅ CO ₂ CH(OCOC ₁₇ H ₃₅) ₂	不溶	可溶
食塩	NaCl	101	難溶
炭酸水素ナトリウム	NaHCO ₃	9.6	不溶
炭酸水素カルシウム	Ca(HCO ₃) ₂	16.6	
塩化カルシウム	CaCl ₂ ・2H ₂ O	74.5	10
にがり	MgCl ₂ ・6H ₂ O	166	50
酢酸	CH ₃ CO ₂ H	∞	∞
乳酸	CH ₃ CH(OH)CO ₂ H	∞	∞
酒石酸	HO ₂ CCH(OH)CH(OH)CO ₂ H	139	25
クエン酸	HO ₂ CC(OH)(CH ₂ CO ₂ H) ₂	133	76
リボース	C ₅ H ₁₀ O ₅	可溶	難溶
イノシン酸	C ₅ H ₃ N ₄ O-C ₅ H ₈ O ₄ -PO ₃ H ₂	∞	難溶
アデニル酸	C ₅ H ₄ N ₅ -C ₅ H ₈ O ₄ -PO ₃ H ₂	可溶	
グアニル酸	C ₅ H ₄ N ₅ O-C ₅ H ₈ O ₄ -PO ₃ H ₂	可溶	
グリシン	CH ₂ (NH ₂)CO ₂ H	23	0.1
アラニン	CH ₃ CH(NH ₂)CO ₂ H	22.5	易溶
グルタミン酸	HO ₂ C(CH ₂) ₂ CH(NH ₂)CO ₂ H	1.5	易溶
メチオニン	CH ₃ S(CH ₂) ₂ CH(NH ₂)CO ₂ H	3.38	可溶
アルギニン	CH ₄ N ₃ (CH ₂) ₃ CH(NH ₂)CO ₂ H	15	難溶
ビタミン A	C ₂₂ H ₃₀ O	不溶	可溶
ビタミン B ₂	C ₁₂ H ₉ N ₄ O ₂ -C ₅ H ₁₁ O ₄	0.033	難溶
ビタミン C	C ₆ H ₈ O ₆	33	3.3
ビタミン D ₂	C ₂₈ H ₄₄ O	不溶	可溶
ビタミン E	C ₂₉ H ₅₀ O ₂	不溶	∞

なっていますから、水とよく似た性質と油とよく似た性質を兼ね備えています。そのため水に溶け易い水溶性の物質も油に溶け易い脂溶性の物質も適度に溶かすことができます。表 5-3 に示されているように、糖類やアミノ酸などのように水との水素結合により強く安定化されている物質は水中よりもエタノール中で溶け難くなりますが、酢酸やクエン酸などのようなカルボン酸類はエタノール中でより溶け易くなっています。果物の匂いの素になる酢酸ペンチルなどのカルボン酸エステル類は水にはあまり溶けませんが、エタノールには極めてよく溶けます。また、香草類に含まれているメントールなどのモノテルペン類や樹皮や木の実に含まれるバニリンやシナナムアルデヒドなどの芳香族化合物は全て水中よりはエタノール中でよく溶けます。

果物や香草や木の実や樹皮は種々の好ましい色や香りや味を持った成分を含んでいますが、これらのものは入手困難や保存困難なことがしばしばあります。そのため、これらの果物や香草や香辛料の成分をお酒で溶かしだして、味や香りの成分を溶液の形で保存し、常時楽しむことができました。特に、エタノール濃度が高く味も香りも少ない蒸留酒を用いて、種々の果物や香草や香辛料の成分を溶かし出したものを、ラテン語で「溶ける」の意味のリケファセレを語源に持つリキュールと呼んでいます。酢酸や酪酸などのカルボン酸のエステルが果物の香りの素になっていますが、このカルボン酸エステル類はエタノールに良く溶けますから、味の少ない蒸留酒に種々の果物を漬け込めばその果物の香りが溶け込んだリキュールができます。例えば、杏の香りの主成分は酪酸ペンチルや酪酸イソペンチルですからこのエステル成分が蒸留酒のエタノールに溶けてアプリコットブランデーに保存されます。同じように味の少ない蒸留酒に、さくらんぼや桃やオレンジやメロンやバナナなど種々の果物を漬け込み、それぞれチェリーブランデー、ピーチブランデー、オレンジキュラソー、メロンリキュール、バナナリキュールなど食後の口直しのお酒として西欧では楽しまれています。日本で最も身近な梅酒は、6月に収穫される青梅を氷砂糖とともに焼酎の中に漬け込み、1年以上の長期間熟成させます。この方法は浸出法と呼ばれ、焼酎のエタノールが梅の香りと酸味を徐々に溶かし出し、氷砂糖の甘味と共に淡黄色の香り高いリキュールに仕上がります。このとき、焼酎の高い濃度のエタノールにより、微生物の繁殖が抑えられますから、腐敗することなく梅の香りと味を常時楽しむことができます。

洋の東西を問わず古くから薬効を持った草木や動物が漢方薬あるいは香草として医療に用いられてきましたが、服用のし難い場合がしばしばありました。そのため、これらの薬草や動物の成分をお酒で溶かしだして、薬効成分をエタノール溶液の形で保存し、常時、服用し易くしてきました。薄荷は最も人気のある香草の一種ですが、この葉を蒸して昇華してくる精油にはメントンやメントールなどのモノテルペン類が含まれていますから、この精油を砂糖と共に蒸留酒に溶かし込み、緑色に色付けしたリキュールはペパーミントと呼ばれています。また、スマレの花から浸出法により作られたバイオレットはスマレの花の香りと紫色の色の成分が溶け込んだ鮮やかなリキュールです。

蔓性植物バニラに実るバニラ豆を発酵させたのちに乾燥しますとバニラ特有の甘い匂

い成分としてバニリンが生成してきます。しかしこの乾燥したバニラ豆の莢は非常に硬いため、容易には食べることができませんから、匂い成分のバニリンを無味無臭の蒸留酒で浸出したバニラエッセンスとしてアイスクリームやケーキを作るときに便利に利用しています。著者は研究の過程で純粋なバニリンを使用する機会がありましたので、遊びのつもりでこのバニリンを 10 倍量の焼酎に溶かしてバニラエッセンスを作ってみたことがあります。

ジンにはトウモロコシや大麦やライ麦からの蒸留酒に利尿効果のある杜松（ねず）の実を加えて、再蒸留して作られています。杜松の実にふくまれるモノテルペン類の香りが一緒に蒸留されてくるため、ジンはわずかに針葉樹の香りを持っています。イタリアで好まれているカンパリはオレンジの皮、キャラウェイの種、コリアンダーの種、リンドウの根を味の少ない蒸留酒に漬けて浸出したもので、本来薬用に調合されたものと思われます。ベネディクト派の修道院で調合されたベネディクトインは杜松の実、露の根、シナモン、クローブ、ナツメグなど 27 種類の薬草や香辛料などをエタノール濃度の高い蒸留酒で漬け込み、薬効成分を浸出したリキュールで、医薬品として用いられていたものと思われます。

お屠蘇は屠蘇散（とそさん）を日本酒あるいはみりんに漬けて込んで、その香りや味や薬の成分を浸出させたリキュールの一種と考えられるものです。屠蘇散は中国の名医華陀（かた）が赤朮（あかおけら）、桂心（けいしん）、防風（ぼうふう）、菝葜（さるとりいばら）、蜀椒（ふさはじかみ）、桔梗、大黄（だいおう）、烏頭（うず）、小豆を処方した薬で、赤朮は健胃や利尿や解熱や鎮痛剤に用いられるキク科の多年草、桂心は西欧ではシナモンとよばれ健胃薬の効果を持つクスノキ科の常緑高木の樹皮、防風は鎮痛や解熱や解毒などの薬効を持つセリ科の多年草、菝葜は痛風やリウマチや関節炎や梅毒の薬に用いるユリ科の落葉低木、桔梗は痰を取り除き肺炎や中耳炎に効能のある薬、大黄は健胃薬や下剤に用いられるタデ科の多年草、烏頭は有毒なアルカロイドの一種のアコニチンを含み痛風や脚気の薬で利尿剤や殺虫剤や麻酔薬として用いられるトリカブトの根です。お屠蘇はこれらの薬草の薬効成分や匂い成分を服用し易い形にエタノールで溶かし出した薬ですから、一年のはじめに飲めば、一年の病気を追い払い、寿命を延ばすと考えられ、日本では正月に飲む習わしになっています。

この他に蝮や朝鮮人参を蒸留酒に漬けて込み、薬効成分を浸出させた蝮酒や高麗人参酒も混成酒に分類されると思われます。このようにエタノールが種々の物質を溶かす性質があるために、お酒の味や香りをより一層向上させるばかりでなく、保存性が高く服用し易い薬にするために、浸出法により種々の混成酒が作られてきました。蒸留酒の高い濃度のエタノールにより、微生物の繁殖が抑えられますから、腐敗することなく種々の果物や花や香草や香料の香りと味を常時楽しむことができます。

このように果物や花や香草や香料をエタノール濃度が高く味も香りも少ない蒸留酒に溶かしたリキュール類を作り、保存性が高く服用し易い薬として用意したばかりでなく食生活を豊かにしてきました。さらに、匂い成分をエタノールに溶かして香りを楽しむこの

方法は保存性が高く利便性に富んでいますから、種々の花や果物や香草や香料や香木ばかりでなく、麝香や霊猫香や海狸香など性フェロモンに関係する匂い成分もエタノール溶液の精油として用意されています。保存性が高いこのような種々の精油を調合して香水は作られてきました。マリリン・モンローが寝るときに寝間着の代わりに使用したと伝えられているシャネル№5 は女性の魅力を十分に引き立たせるために性フェロモンに関係する匂い成分の精油が多く調合された香水のようです。また、汗臭さを打ち消して爽やかな魅力を引き立たせるために、柑橘系の果物の匂い成分を含む精油が強調された男性用の整髪料が市販されています。

化学の実験室は種々の化学薬品が揮発してそれぞれ特有の匂いを充満させていますから、臭くて頭が痛くなってしまおうと外来の人には非常に嫌われていますが、実験している当人にとっては夢のような結果を齎す匂いと感じられ心が癒されます。このように匂いは心を癒やす効果を持っていますから、近年、種々の匂いを部屋に充満させて不愉快な匂いを打ち消したり、心を癒すアロマセラピーを楽しむ人が多くなっています。ろ紙を通して滲みあがってきた金木犀の精油には β -イオノン、リナロール、デカラクトン、リナロールオキシド、ヘキセノールの匂い成分が含まれていますから、ろ紙から徐々に揮発して室内に充満し、不愉快な匂いを打ち消すために、トイレの芳香剤として用いられています。

冬の乾燥した季節に室内を適当な湿度に維持するために加湿器が広く用いられるようになってきましたが、近年、この加湿器から湯気とともに種々の精油を蒸散させて花や香草の香りを室内に充満させるディフューザーが市販されています。著者が立ち寄る百貨店のディフューザーの売り場にはジャスミンやラベンダーやカモンミールなどの花の精油やミントやセージなどの香草の精油が 100 種類以上も並べられて強烈な匂いを立てていました。このような匂いで心を癒される人やアロマセラピーを要する人にとっては強い味方になることでしょうか、慣れない人にとっては頭の痛くなる臭い匂いとなるように思えます。

6. まとめ

人間に有益な香りと有害な臭み

人間は身体の水分が不足すると渇きを感じて本能的に水を飲むように行動します。身体から塩分が不足すると塩っぱいものが美味しくなりますし、長時間の運動や重労働で身体の各部の活力が不足するときには、ブドウ糖を必要としますから、甘いものが食べたくなくなります。肉や魚に含まれるアミノ酸は旨味成分として味覚を刺激し、蛋白質が食べたくなくなるように食欲を促します。このように身体の活力となる炭水化物や構成素材となる蛋白質や脂肪の不足を補うように味覚が刺激して本能的に食欲を促します。同じように嗅覚も種々の匂いを嗅ぎ分け、身体にとって必要で有益な匂いを**匂い (smell)** あるいは**香り (fragrance あるいは aroma)** と呼んで好み、危険や害毒を予知するような匂いを**臭み (odour)** と呼んで嫌います。

多くの物質の化学変化により、全ての生物は生命維持のための非常に複雑な多くの反応をしています。還元状態の物質を空気中で酸化して、そのとき副生する熱エネルギーや運動エネルギーを活力にしています。植物は光合成でブドウ糖を生産しており、そのブドウ糖を構成単位としたでんぷんや糖類などの炭水化物を分解して生命の維持をしています。この植物の生産した炭水化物を酸化分解して大部分の微生物や動物も生命維持のための活力にしています。また、生物を形作っている最小単位の細胞は多くの脂肪と蛋白質を構成素材としています。人間をはじめとする全ての微生物や動物はこれらの生命維持に欠くことのできない炭水化物や蛋白質や脂肪を栄養として外部から摂取しています。大きな分子量を持つ炭素単体や二酸化ケイ素が極めて小さな飽和蒸気圧を別表から覗えるように、炭水化物や蛋白質や脂肪はいずれも大きな分子量を持つために、飽和蒸気圧が非常に小さくほとんど気体になりませんから、人間の嗅覚では匂いを感知することができません。しかし、これら炭水化物や蛋白質や脂肪に関連する物質の匂いに対して、人間は本能的に極めて鋭敏に知覚します。

種子や果実や芋は熟しますと炭水化物を多く含むようになりますが、同時に種々のアルコール類やアルデヒド類や脂肪酸のエステル類もわずかながら含むようになります。そのため、これらのアルコール類やアルデヒド類や脂肪酸のエステル類の匂いは大量の炭水化物の存在を示しますから、人間は良い**匂い**あるいは**香り**として好みます。また、炭水化物が微生物により変性した時にも、アルコール類やアルデヒド類や脂肪酸が副生してきます。例えば、酵母は生命活動を維持するための化学反応として糖類からエタノールを生産しますが、このエタノールは人間にとって極めて有益な物質ですから、匂いを嗅ぐだけで仏頂面のおじさんの顔も何となく和やかになります。

主に炭水化物や蛋白質で構成される食物が腐敗するときに腐敗菌はしばしば有毒な物質を代謝しますから、自己防衛本能により人間は腐敗したものを摂取しないようにします。炭水化物を分解して酢酸や乳酸やブタン酸などの脂肪酸の生産とともに腐敗させる種々の

腐敗菌がいますし、蛋白質やその構成単位のアミノ酸はしばしば腐敗により脱炭酸分解しカルボン酸部分が失われて、窒素原子を含むアミン類や硫黄原子を含むチオール類や硫化物を生成してきます。蛋白質に少量含まれるヒスチジンも腐敗して二酸化炭素を脱離してヒスタミンを生成しますが、このヒスタミンは強力な血管拡張作用を示し、体内に過剰になったときには毒性を示しアレルギー症状を引き起こします。ヒスタミン以外の脂肪酸やアミン類やチオール類や硫化物などの腐敗生成物はほとんど毒性を示すことはありませんが、食物の腐敗を間接的に示しますから人間はこれらの分解生成物を忌み嫌います。成人して味覚が発達しますと酸味や苦味を好むようになりますが、脂肪酸とアミン類はそれぞれ酸味と苦味を持っていますから、味覚の未発達な子供たちは本能的にあまり強い酸味と苦味を好みません。同じように、これらの脂肪酸やアミン類やチオール類や硫化物の持つ特有の匂いは**臭み**と感じます。例えば、ウンチ臭いブタン酸は炭水化物やアミノ酸が分解して生成する脂肪酸ですし、アミノ酸は脱炭酸分解して生臭い匂いのアミン類を生成します。また、アミノ酸の分解で生成するチオール類は最も強い臭みとを感じる人が多く、危険を知らせる付臭剤として都市ガスの中に混入されています。

生物は成長や代謝をしながら生命維持の活動をしています、同時に、優秀な子孫を多く残し、種を保存するために生殖の能力を持っています。生物はフェロモンと呼ばれる物質を分泌して生殖活動を促します。人間もこのような生殖の本能を持っていますから、優秀な性質を持つ人を逞しい、賢い、あるいは美しい人と感じ、フェロモンを良い**香り**として好みます。若い女性がお化粧をし、香水をつけ、綺麗に着飾るのもこの本能によるものと思われま

炭水化物は切断し易いアセタール結合でブドウ糖が鎖状に繋がった高分子化合物ですから、ブドウ糖や少数のブドウ糖の結合したオリゴ糖に容易に熱分解しますので、でんぷんや糖類は調理することにより消化しやすくなります。同じように蛋白質も加熱調理することにより消化し易いアミノ酸に一部分解します。このような加熱調理は食物を消化しやすくするばかりでなく腐敗を抑える効果を持っています。この加熱調理では比較的還元状態のアルコール類やアルデヒド類やエステル類やケトン類も多く生成してきますが、フェノールやクレゾールなどのフェノール類をはじめ窒素原子を含む種々の芳香族化合物も副生してきます。加熱調理によりアミノ酸はメイラード反応が部分的に進行して、ピラジン類などの複素環芳香族化合物と呼ばれるベンゼン環の炭素原子と水素原子がそれぞれ窒素原子で置き換わった構造を持つ物質を生成します。代表的な複素環芳香族化合物のピリジンとピラジンは著者が長い年月にわたり取り扱ってきた 2000 種類以上の化学薬品の中で最も不愉快な吐き気を催す匂いを持ち、永遠に馴染むことのできない**臭い**物質です。しかし、種々の炭化水素鎖が結合した多くのピラジン類が少量ずつ混合した場合にはごま油やコーヒーの独特の香ばしい**香り**に感じられるようです。

匂いを捉え切れない化学の知識や技術

鼻は呼吸をする時に空気とともに種々の気体物質を鼻孔から吸い込み、鼻の中にある嗅覚が通り過ぎる空気に含まれる物質と接触して、匂いの情報を得ることに特化した触覚の一つです。この嗅覚により得られる空気中にわずかに含まれる気体の分子の情報を脳で整理して、その発生源となる物質の所在や性質を推測します。人間は他の動物に比べて優れた視覚を持っていますし、際立った天敵や対処できない害毒もあまりありませんから、嗅覚などの五感がかなり退化していますが、嗅覚により得られる情報が思考や行動を主に支配している動物もいます。瞼を閉じてじっと動かずに眠っているときには視覚の情報も触覚の情報も得られませんし、食べ物を食べないときには味覚の情報も得られません。しかし睡眠中でも呼吸をしていますので、嗅覚は空気中に含まれる物質と接触して情報を送り続けますから、不意に起こる状況の変化の情報を的確に捉える傾向があります。五感はすべて連動していますから、一度不意の状況の変化を捉えた後には、精度や感度の高い視覚や聴覚や味覚が主に情報を集める働きをします。これに対して、この不意の変化を報せる物質に対する匂いを本能的に消し去り、嗅覚は全く匂いのない状態に戻って、次に起こるかもしれない不意の状況の変化に備えます。このように空気中にわずかに含まれる気体の分子が通り過ぎるときに、鼻の中にある嗅覚に接触して匂いの情報を得ることに特化した触覚ですから、眼に入る光の量に比例して視覚が明るさを感じるように、匂いの情報の強さは嗅覚に接触する分子の数に比例します。当然、空気中に含まれる種々の気体分子の割合が匂いの情報に影響を与えます。

地球を形作っているすべての物質は多くの構成成分が混合した形で存在し、それらの個々の成分の性質が互いに融合し合って物質の全体的な性質を醸し出しています。塩辛い味の食塩と甘い味の砂糖を混ぜれば甘辛い味になりますし、黄色と青色の絵の具を混ぜれば緑色になります。化学は物質の性質を調べて日常生活に役立てることを目的とする学問ですから、物質を構成する多くの成分をそれぞれ純粋な成分に分離し、それらの成分の比率とともに個々の成分の性質を明らかにしてきました。錬金術から化学の進化してきた250年間に、 5×10^7 種以上の純物質の製法や性質など種々の化学的な知識や技術や製法が蓄積されてきました。現在では、最も感度の高い質量分析計は空気中に含まれる気体成分の成分比やそのそれぞれの化学的性質を測定する測定機器で、平均して人間の嗅覚の1000~10000倍程度の感度を持っていると考えられています。

空気は主に窒素と酸素で構成されていますが、二酸化炭素やアルゴンのほか、種々の物質から気化してきた多くの気体の分子が含まれています。物質の性質や分子量などにより差異がありますが、多くの物質はわずかながら気化して気体の分子として周囲の空気中に拡散してゆきます。大気圧に対する飽和蒸気圧の割合は空気中に含まれる気体の状態の物質の上限量を示すものですから、空気中に含まれる気体の物質の割合が飽和蒸気圧の割合に達するまで液体や固体の状態の物質は気化を続け、液体や固体の状態の物質がすべて気化した時に空気中の気体物質の割合の上昇も止まります。当然、高い飽和蒸気圧を示す物質

は揮発性が高く、気化しやすい性質を示しますが、この飽和蒸気圧は温度の上昇により飛躍的に高くなります。物質の色や溶解度などの種々の化学的性質と同じように、分子の部分構造が飽和蒸気圧の大きさに影響を与えますが、類似の化学的性質を示す同族物質では分子量が大きくなるほど飽和蒸気圧は低下します。

このようにして測定される飽和蒸気圧の外挿線を用いますと、「イタチの最後っ屁」に含まれるスカトールの空気中の濃度が 0.001% (10ppm) 以上には高くないことが見積られます。言い換えれば、空気中に 10ppm 含まれるだけで、嗅覚はスカトールの臭みをきわめて強く感じますし、1ppm よりも低い濃度のときに良い香りに感じられます。しかし、酸素分子や窒素分子のように空気中に大量に存在していても全く匂いを感じない物質もありますから、嗅覚の感度は種々の物質によりそれぞれ大きく異なり、**香り**か**臭み**かの匂いの好みも物質の種類ばかりでなく濃度にも影響されることがわかります。

嗅覚は接触する気体分子に特化した触覚ですから、得られる匂いの情報の強さは空気中に含まれる分子の数に比例しますが、この匂いの情報を脳内の嗅覚中枢で処理していますから、人間の匂いの好みは主観的で嗜好や体調や状況などに影響されます。嗅覚と同じように、ガスクロマトグラフィーや質量分析計などの道具や機器は空気中に含まれる気体物質の量や割合を高い精度と感度で測定できますが、その匂いが良い**香り**か、忌み嫌うような**臭み**かを判断できません。嗅覚に代わる道具や機器はいまだに作られていませんから、残念ながら化学の知識や技術は匂いを調べるうえで全く無力です。匂いが重要な要素となる食品や化粧品などの産業では、匂いの良し悪しは調香師と呼ばれる特技を持った人によって最終的に判断されています。

本書では人間の生活の中で深く関わっている匂いに関して化学の知識を織り交ぜながら独善的に見てきました。匂いの感覚は嗅覚に衝突する気体物質の性質によるものですから、化学の知識や技術が深く関係していますが、匂いが高い嗜好性をもつ感覚のために、重要な要素となる食品や化粧品などの産業で十分な寄与をしていないように思われます。本書で匂いに関する基本的な性質を少しでも深く知ることにより、何か一つでも化学の研究や教育に役立つものが見つけ出せば良いと思っております。また、逆に多くの化学的な技術や知識が芳しい香りに包まれた快適な日常生活を生み出す助けになれば、本書はさらなる意義を持つことになると思われます。本書が匂いに関する基礎知識を深める上で貢献できればよいと思っております。

索引

- あ**
- アセチル補酵素A28, 29
アセチル補酵素 A.....28, 29, 32
圧力9, 13, 55, 56, 57, 58, 60
アデニン12
アボガドロ数13
甘味70
アミノ酸3, 12, 20, 21, 70, 75, 81
アミン19
アミン類 18, 19, 41, 44, 57, 64, 76, 82
アラニン19, 21, 77
アルギニン77
アルコール18
アルコール臭25
アルコール類 .. 18, 25, 29, 46, 57, 62, 73, 81,
82
アルデヒド73, 74, 75, 82
アルデヒド類25, 29, 39, 62, 75, 81
アルドール反応28
Arrhenius53
- い**
- 硫黄—硫黄結合20
硫黄酸化物16
硫黄—酸素交換反応20, 23
一酸化炭素15, 17, 66, 67, 91
- う**
- 旨い11, 12
旨味3, 12, 81
ウンチ臭18, 82
運動エネルギー17, 54, 55, 57, 81
- え**
- ATP27, 28
- ADP 27
液体 74
エステル 27, 28, 29, 32, 33, 73, 78, 82
エステル類 25, 29, 47, 64, 69, 71, 78, 81
エタノール 18, 76, 77, 78, 79, 81
エネルギー不滅 51
塩基性 28
エンタルピー 51, 52, 53
エントロピー 51, 52, 53, 55, 57
- お**
- 織物 22
温度計 11
- か**
- 解糖 27, 32, 36
海狸香 46, 47, 80
可逆反応 53
加水分解 17, 18, 29
ガスクロマトグラフィー 14, 38, 72, 84
活性化エネルギー 53
活性化エンタルピー 53
活性化エントロピー 53
活性化自由エネルギー 53
カテキン 70
果糖 77
カフェイン 69
カルボン酸 19, 78
カレー粉 4, 29, 72, 73, 76
渴き 3, 11, 81
環化反応 48, 49
環境基準値 16
還元・酸化処理 22
灌水 5, 42, 76
感度 8, 9, 11, 12, 14, 60, 61, 62, 63, 83, 84

カンファー.....32, 33

き

気化12, 13, 54, 55, 58, 60, 64, 65, 70, 71, 72,

83

菊酸.....44

希釈法.....48, 49

気体.....74

気体定数.....53

基底状態.....34

揮発性.....19, 24, 33, 40, 71, 74, 84

Gibbs.....51

嗅覚3, 6, 8, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 41, 44, 60,

61, 62, 63, 67, 71, 81, 83, 84

嗅覚中枢.....84

吸熱反応.....52, 53

共鳴.....34, 35

共鳴エネルギー.....34, 35

共役.....34, 35

共有結合.....34

銀塩写真.....9

く

クーロン力.....33

クエン酸.....77, 78

Clausius.....55

グリシン.....19, 21, 77

グルタミン酸.....77

クレゾール.....73, 74, 75, 82

燻製.....74, 75

け

Kekulé.....35

結合エネルギー.....34, 35, 36

結合距離.....34, 35

ケトン.....73, 82

ケラチン.....20, 21

ゲラニオール.....30

ゲラニルピロリン酸.....32

けん化価.....26

猷香.....5, 42, 44, 76

原子核.....33

こ

光合成.....17, 81

麹菌.....17

香水..5, 14, 15, 43, 46, 47, 50, 61, 64, 80, 82

香草...4, 6, 24, 26, 29, 30, 33, 37, 43, 65, 71,

72, 76, 78, 79, 80

香道.....6, 43

高分子化合物.....73, 82

酵母.....3, 17, 18, 81

香木.....6, 42, 43, 46, 65, 71, 75, 76, 80

香炉.....5, 6, 43

コーヒー.....6, 39, 40, 41, 82

五感.....3, 6, 8, 13, 15, 17, 83

胡椒.....4, 12, 29, 30, 33, 72, 116

護摩.....5, 6, 42, 64, 71, 73, 76

コラーゲン.....70

混成酒.....79

さ

最外殻軌道.....34

酢酸.3, 18, 19, 24, 25, 26, 29, 30, 38, 41, 68,

71, 73, 74, 77, 78, 81, 93, 94, 95, 97, 99,

100, 102, 103, 106, 110, 111, 114, 118

酢酸エチル.....25, 71

砂糖.....77, 78

酸化.....16, 70, 73

酸化剤.....20

酸化反応.....27

酸化防止剤.....75

三酸化硫黄.....16, 17, 92

3重結合.....34

酸性	22, 28
酸素	73, 75
3 態	55
酸敗	18, 19, 41
酸味	12

し

シアン化水素	16, 17, 91
塩漬け	75
視覚	3, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 61, 81, 83
味覚	12
シキミ酸	30, 36, 73
σ 結合	34, 35
シクロヘキセン	16, 105
刺激臭	15, 16, 18, 25
脂質	17
シスチン	20, 21
システイン	20, 21
質量	13, 54, 57
質量分析計	14, 63, 83, 84
脂肪	3, 12, 81
脂肪酸	18, 23, 25, 26, 29, 32, 41, 44, 73, 76,

81

脂肪酸エステル類	25
ジメチルアリルピロリン酸	32, 33
麝香	46, 47, 80
自由エネルギー	52, 53
重合反応	48
酒石酸	77
蒸気圧	59
焼香	5, 6, 42, 44, 76
消臭剤	5, 15
状態方程式	57
蒸発熱	55
蒸留	74
蒸留酒	78, 79
食塩	77

食欲	3, 12, 81
除虫菊	44
触覚	8, 9, 11, 12, 13, 62, 63, 71, 83, 84

す

水酸基	28, 76
スカトール	13, 14, 46, 47, 60, 61, 64, 65, 84, 113
ステアリン酸	77

せ

正 4 面体	34
静電的な引力	54
セスキテルペン類	29, 32, 33
セスキテルペン類	64, 73, 75, 76
セリン	21, 77
セルロース	73, 74
遷移状態	52, 53
線香	5, 42, 44, 76

そ

相関係数	55, 64
相対湿度	59
相転移熱	55
測定機器	14, 63, 83
速度	13, 53, 54, 55, 62, 66

た

ターピネオール	33
大環状化合物	47, 48, 49
体臭	5, 15, 41, 64
脱アミン反応	18, 23, 41
脱水	75
脱水反応	29
脱炭酸	18, 19, 37, 41, 82
脱炭酸反応	32
炭化水素	33, 56, 57, 76
単結合	34, 35, 37

炭酸水素カルシウム	77
炭水化物	3, 12, 18, 81
炭素＝炭素 2 重結合	34, 35
炭素－炭素単結合	34
タンニン	36, 69
蛋白質	3, 12, 20, 21, 81

ち

チオール類	20, 67, 82
チオグリコール酸ナトリウム	21
抽出	70
中性子	51
聴覚	8, 9, 10, 12, 14, 83
調香師	14, 84
沈香	42, 43, 75, 76

つ

漬物	75
----------	----

て

出会いの反応	48
電荷	54
電子	11, 33, 34, 35, 36, 51, 54
でんぷん	12, 17, 81

と

糖類	17, 18, 27, 78, 81
毒性	12

に

苦味	12, 70
二酸化硫黄	16, 17, 65, 66, 67, 92
二酸化炭素 ..	3, 12, 15, 17, 19, 26, 27, 28, 29, 32, 37, 49, 65, 66, 67, 82, 83, 91
2 重結合	34, 35
乳香	43, 75, 76
乳酸	3, 18, 19, 28, 41, 77, 81
乳糖	77

ね

熱力学の 3 法則	51
燃焼	16
粘性	55

は

π 結合	34, 35
白内障	8
薄荷脳	78
発ガン性	74
発熱反応	52
バニリン	37, 40, 68, 78, 79, 111
反応座標	52
反応速度定数	53

ひ

ビール	12
ヒスタミン	19, 82
ヒスチジン	19, 82
ビタミン A	77
ビタミン C	70
白檀	42, 43, 75, 76
ピラジン	38, 39, 40, 41, 72, 82
ピリジン	38, 39, 40, 82, 102, 105
ピルビン酸	18, 27, 28, 32, 36, 37, 96
ピルピン酸	27
頻度因子	53

ふ

ファルネシルピロリン酸	33
van der Waals 力	54
フェニルアラニン	19
フェニルプロパノイド	36, 37
フェノール	73, 74, 75
フェノール－アルデヒド樹脂	75
フェロモン 4, 5, 6, 15, 41, 46, 47, 62, 63, 80, 82	

複素環化合物.. 39, 40, 64, 99, 102, 103, 105,
 113, 116, 119
 付臭剤.... 16, 17, 23, 67, 82, 95, 99, 101, 106
 ブタジエン.....34, 35, 67, 99, 102
 ブタン酸 4, 18, 19, 24, 25, 26, 29, 41, 71, 81
 ブタンチオール16, 23, 101, 104
 沸点56, 57
 Butenandt.....62
 ブドウ糖 3, 12, 17, 25, 27, 32, 73, 77, 81
 腐敗 4, 12, 15, 17, 18, 19, 23, 29, 41, 65, 67,
 72, 74, 75, 78, 79, 81, 82
 腐敗臭..... 4, 15, 17, 19, 20, 23, 64, 72, 73
 不飽和炭化水素16, 67
 フルフラール74, 75
 Prelog.....49
 分圧 57, 58, 59, 60, 64, 65, 69
 分子11, 12, 13, 15, 19, 20, 21, 23, 25, 32, 33,
 34, 35, 36, 41, 43, 48, 51, 54, 55, 56, 57,
 61, 63, 68, 74, 77, 83, 84, 91, 92, 93, 94,
 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104,
 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112,
 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120,
 121
 分子間力54, 55, 56, 57, 58
 分子構造15, 34, 62, 76
 分子量. 13, 19, 23, 25, 33, 43, 48, 54, 55, 56,
 57, 60, 62, 65, 66, 67, 73, 75, 81, 83
 へ
 平衡状態53
 平衡定数53
 平衡反応53
 ベンゼン ... 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 73, 82,
 104, 105, 107, 108, 111, 113, 114, 115,
 118
 変動係数38

ほ

芳香族化合物 .. 29, 33, 36, 37, 39, 64, 68, 72,
 73, 75, 76, 78, 82, 105, 108, 109, 119
 芳香族炭化水素..... 74
 飽和蒸気圧 58, 59, 60, 61, 62, 64, 65, 68, 71,
 81, 83, 84, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98,
 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107,
 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115,
 116, 117, 118, 119, 120, 121
 飽和炭化水素 16, 17, 55, 57, 66, 67
 保持時間..... 38, 39, 72
 没薬..... 43, 75, 76
 ボツリヌス菌 3
 ポリフェノール..... 36
 ボルネオール 30, 33

ま

マグネシウム 19
 マタタビ..... 44, 45, 46
 抹香..... 5, 6, 42, 44, 46, 76

み

味覚3, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 17, 19, 20, 81, 82,
 83
 密度..... 9, 13, 54, 58, 66
 三宅島 65

む

ムスコン..... 46, 48, 50, 120

め

Maillard 37
 メイラード反応..... 37, 38, 39, 40, 41, 72, 82
 メチオニン 77
 メチルアミン 19
 メバロン酸..... 32

も	
網膜	8
木酢液	74
モノテルペン類	25, 29, 32, 33, 45, 64, 69, 70, 72, 73, 76, 78, 79

よ	
陽子	51
ヨウ素価	26
溶媒	48, 65
四日市喘息	16
縊り	20

ら	
酪酸	4, 19, 29, 68, 74, 78, 100, 103, 106, 110, 112, 114
蘭奢待	6, 42, 75

り	
リグニン	36, 73, 74
リグノイド	36, 43

理想気体定数	13
理想気体の状態方程式	13
リトマス試験紙	12
リボース	77
硫化ジメチル	16, 95
硫化水素	15, 17, 23, 66, 91
龍涎香	46, 47, 48
りん酸	27, 33
リン脂質	17

る	
Ruzicka	49

れ	
励起状態	34
霊猫香	46, 47, 80

ろ	
ロイシン	19
ろ過	70

別表

別表の基礎となる一定の飽和蒸気圧を示す実測された温度は化学便覧（丸善）及び Handbook of Chemistry and Physics (CRC) より引用しました。なお、 ΔH とCと飽和蒸気圧外挿値はそれぞれ kcal/mol と cal/mol・K と atom で表しました。

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (1)												
物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途		
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C			
アルゴン	無機化合物	Ar	1.54	0.92	0.9996	546.6	923.4	1334	1911			
三フッ化ホウ素	無機化合物	BF ₃	3.94	1.19	1.0000	127.8	487.4	1247	3120			
臭素	無機化合物	Br ₂	7.53	1.19	0.9998	0.2865	3.693	22.21	128.0		有毒ガス	
炭素	無機化合物	C	209.9	2.15	0.9999	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000			
塩素	無機化合物	Cl ₂	4.85	1.06	1.0000	7.576	39.33	124.9	386.3		オゾン層破壊物質	
一酸化炭素	無機化合物	CO	6.31	1.69	0.9997	289.0	2462	11075	48085		有毒ガス	
二酸化炭素	無機化合物	CO ₂	1.79	1.16	0.9971	3455	6350	9733	14769		大気汚染物質	
二硫化炭素	無機化合物	CS ₂	6.98	1.15	0.9998	0.4747	5.077	26.78	135.9			
水素	無機化合物	H ₂	9.45	1.33	0.9999	0.0414	1.026	9.754	87.97			
水	無機化合物	H ₂ O	9.45	1.33	0.9999	0.0414	1.026	9.754	87.97			
硫化水素	無機化合物	H ₂ S	4.40	1.08	0.9999	20.01	88.97	253.5	704.9		有毒ガス、ゆで卵	
塩化水素	無機化合物	HCl	3.91	1.08	1.0000	46.98	177.2	449.8	1117			
シアン化水素	無機化合物	HCN	8.25	1.46	0.9974	1.139	18.74	133.7	911.3		有毒ガス	
水銀	無機化合物	Hg	14.37	1.19	1.0000	0.000003	0.00037	0.0114	0.3235		有毒ガス	

別表 種々の物質の空气中の飽和蒸気圧の外挿値 (2)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C	
ヨウ素	無機化合物	I ₂	12.76	1.48	0.9975	0.00066	0.0506	1.059	20.62	有毒ガス
窒素	無機化合物	N ₂	1.38	0.62	0.9997	37.82	60.51	84.15	116.1	
過酸化窒素	無機化合物	N ₂ O ₄	8.46	1.50	0.9992	1.156	20.42	153.2	1096	大気汚染物質
ネオン	無機化合物	Ne	0.51	0.99	0.9995	5740	6818	7694	8658	
アンモニア	無機化合物	NH ₃	5.48	1.20	1.0000	9.754	62.78	231.9	830.6	
酸化窒素	無機化合物	NO	3.13	1.35	0.9984	2330	6754	14254	29557	大気汚染物質
酸素	無機化合物	O ₂	1.65	0.96	0.9999	643.2	1128	1672	2457	
オゾン	無機化合物	O ₃	2.90	0.94	0.9993	61.42	164.4	328.2	644.4	大気汚染物質
二酸化ケイ素	無機化合物	SiO ₂	86.91	1.81	1.0000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
二酸化硫黄	無機化合物	SO ₂	5.89	1.17	0.9997	3.868	28.53	116.0	456.2	大気汚染物質
三酸化硫黄	無機化合物	SO ₃	11.79	1.95	0.9989	0.3270	17.88	296.5	4602	大気汚染物質
ブロモホルム	ハロゲン化合物	CHBr ₃	9.60	1.18	1.0000	0.00821	0.2136	2.103	19.63	
クロホルム	ハロゲン化合物	CHCl ₃	7.66	1.20	0.9997	0.2493	3.364	20.88	124.2	
クロロジフルオロメタン	ハロゲン化合物	CHF ₂ Cl	5.44	1.23	0.9994	14.12	89.44	326.8	1158	オゾン層破壊物質
ジクロロフルオロメタン	ハロゲン化合物	CHFCl ₂	6.52	1.21	0.9997	1.925	17.63	83.39	380.4	オゾン層破壊物質
ジブロモメタン	ハロゲン化合物	CH ₂ Br ₂	8.77	1.24	0.9997	0.0579	1.138	9.205	70.89	
ジクロロメタン	ハロゲン化合物	CH ₂ Cl ₂	7.35	1.23	0.9997	0.5739	6.948	39.98	220.8	オゾン層破壊物質
ホルムアルデヒド	アルデヒド	CH ₂ O	5.93	1.22	0.9998	5.833	43.65	179.2	711.8	
ギ酸	カルボン酸	CH ₂ O ₂	8.51	1.19	0.9999	0.0556	0.9982	7.575	54.82	

別表 種々の物質の空气中の飽和蒸気圧の外挿値 (3)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値			存在、用途	
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C		300°C
臭化メチル	ハロゲン化物	CH ₃ Br	6.25	1.18	0.9997	2.330	19.42	85.97	367.6	
塩化メチル	ハロゲン化物	CH ₃ Cl	5.60	1.18	0.9998	6.670	44.65	169.6	624.1	オゾン層破壊物質
フッ化メチル	ハロゲン化物	CH ₃ F	4.35	1.17	0.9998	50.45	220.9	622.8	1714	
ヨウ化メチル..	ハロゲン化物	CH ₃ I	7.08	1.18	0.9997	0.5329	5.896	31.85	165.4	
ホルムアミド	アミド	CH ₃ NO	15.67	1.69	0.9997	0.000038	0.00771	0.3225	12.37	
ニトロメタン	含窒素化合物	CH ₃ NO ₂	9.26	1.30	0.9996	0.0431	1.001	9.096	78.49	
メタン	鎖状炭化水素	CH ₄	2.23	1.05	0.9995	588.1	1255	2136	3589	
メタノール	アルコール	CH ₄ O	9.33	1.44	0.9999	0.1593	3.786	34.97	306.7	
メタンチオール	硫黄化合物	CH ₄ S	6.38	1.20	0.9997	2.147	18.74	85.73	378.5	
メチルアミン	含窒素化合物	CH ₅ N	6.75	1.32	0.9998	3.937	38.93	194.4	934.8	
メチルシラン	複素原子化合物	CH ₆ Si	4.51	1.09	0.9996	18.59	86.03	252.1	720.4	
トリクロロエチレン	ハロゲン化物	C ₂ HCl ₃	8.18	1.19	0.9998	0.0949	1.526	10.72	71.90	オゾン層破壊物質
トリクロロ酢酸	カルボン酸	C ₂ HCl ₂ Cl ₃	13.45	1.50	0.9993	0.00025	0.0243	0.5990	13.68	
トリブromoアセトアルデヒド	アルデヒド	C ₂ HOBBr ₃	10.98	1.28	1.0000	0.00209	0.0868	1.186	15.25	
トリクロロアセトアルデヒド	アルデヒド	C ₂ HOCBr ₃	8.33	1.18	0.9999	0.0643	1.089	7.924	55.06	
アセチレン	鎖状炭化水素	C ₂ H ₂	5.13	1.42	1.0000	147.0	839.7	2852	9415	
1,1-ジクロロエチレン	ハロゲン化物	C ₂ H ₂ Cl ₂	7.02	1.21	0.9997	0.7939	8.596	45.75	234.1	オゾン層破壊物質
trans-1,2-ジクロロエチレン	ハロゲン化物	C ₂ H ₂ Cl ₂	7.56	1.23	0.9997	0.4153	5.408	32.75	190.1	オゾン層破壊物質
cis-1,2-ジクロロエチレン	ハロゲン化物	C ₂ H ₂ Cl ₂	7.81	1.23	0.9999	0.2643	3.749	24.11	148.4	オゾン層破壊物質

別表 種々の物質の空气中の飽和蒸気圧の外挿値 (4)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値			存在、用途	
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C		300°C
1, 1, 1, 2-テトラクロロエタン	ハロゲン化物	C ₂ H ₂ Cl ₄	9.12	1.18	0.9999	0.0182	0.4019	3.527	29.41	オゾン層破壊物質
1, 1, 2, 2-テトラクロロエタン	ハロゲン化物	C ₂ H ₂ Cl ₄	9.76	1.22	0.9998	0.00878	0.2413	2.468	23.90	オゾン層破壊物質
ブromo酢酸	カルボン酸	C ₂ H ₂ O ₂ Br	13.33	1.45	1.0000	0.00019	0.0177	0.4238	9.411	
ジクロロ酢酸	カルボン酸	C ₂ H ₂ O ₂ Cl ₂	12.80	1.43	0.9999	0.00040	0.0310	0.6528	12.81	
臭化ビニル	ハロゲン化物	C ₂ H ₃ Br	6.00	1.09	0.9999	1.396	10.71	44.78	181.0	
塩化ビニル	ハロゲン化物	C ₂ H ₃ Cl	5.59	1.13	0.9994	4.212	28.14	106.7	392.2	オゾン層破壊物質
1, 1, 1-トリクロロエタン	ハロゲン化物	C ₂ H ₃ Cl ₃	7.82	1.18	0.9998	0.1589	2.259	14.55	89.74	オゾン層破壊物質
1, 1, 2-トリクロロエタン	ハロゲン化物	C ₂ H ₃ Cl ₃	8.91	1.20	0.9999	0.0319	0.6553	5.468	43.40	オゾン層破壊物質
フッ化ビニル	ハロゲン化物	C ₂ H ₃ F	4.04	1.05	0.9998	27.29	107.6	281.8	721.6	
アセトニトリル	含窒素化合物	C ₂ H ₃ N	8.37	1.24	0.9997	0.1098	1.886	13.87	97.31	
イソチオシアン酸メチル	含窒素化合物	C ₂ H ₃ NS	8.28	1.10	0.9984	0.0329	0.5477	3.939	27.05	
チオシアン酸メチル	含窒素化合物	C ₂ H ₃ NS	9.23	1.19	0.9998	0.0162	0.3709	3.344	28.64	
クロロ酢酸	カルボン酸	C ₂ H ₃ O ₂ Cl	13.36	1.51	0.9995	0.00035	0.0322	0.7765	17.37	
塩化アセチル	酸塩化物	C ₂ H ₃ OCl	7.65	1.24	0.9995	0.3718	4.998	30.96	183.7	
エチレン	鎖状炭化水素	C ₂ H ₄	3.52	1.09	0.9998	94.14	311.2	720.1	1634	
1, 1-ジクロロエタン	ハロゲン化物	C ₂ H ₄ Cl ₂	7.63	1.21	0.9997	0.2929	3.904	24.03	141.8	オゾン層破壊物質
1, 2-ジクロロエタン	ハロゲン化物	C ₂ H ₄ Cl ₂	8.37	1.23	0.9997	0.1004	1.724	12.68	88.95	オゾン層破壊物質
1, 1-ジフルオロエタン	ハロゲン化物	C ₂ H ₄ F ₂	5.64	1.19	0.9996	6.935	47.02	180.1	668.6	
エチレンオキシド	エーテル	C ₂ H ₄ O	6.61	1.22	0.9999	1.853	17.45	84.23	391.7	

別表 種々の物質の空气中の飽和蒸気圧の外挿値 (5)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値			存在、用途	
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C		300°C
アセトアルデヒド	アルデヒド	C ₂ H ₄ O	6.80	1.21	0.9996	1.236	12.43	62.83	305.6	
酢酸	カルボン酸	C ₂ H ₄ O ₂	9.76	1.30	1.0000	0.0200	0.5500	5.621	54.41	
ギ酸メチル	エステル	C ₂ H ₄ O ₂	7.38	1.27	0.9997	0.7820	9.570	55.49	308.8	
臭化エチル	ハロゲン化物	C ₂ H ₅ Br	7.05	1.18	0.9997	0.6192	6.771	36.29	186.9	
塩化エチル	ハロゲン化物	C ₂ H ₅ Cl	6.45	1.18	0.9997	1.673	14.93	69.36	310.8	オゾン層破壊物質
フッ化エチル	ハロゲン化物	C ₂ H ₅ F	5.24	1.17	0.9998	10.83	64.21	223.9	757.8	
ヨウ化エチル	ハロゲン化物	C ₂ H ₅ I	7.72	1.17	0.9997	0.1731	2.383	15.01	90.51	
アセトアミド	アミド	C ₂ H ₅ NO	13.79	1.46	1.0000	0.000095	0.0103	0.2751	6.810	
ニトロエタン	含窒素化合物	C ₂ H ₅ NO ₂	9.38	1.27	0.9999	0.0267	0.6456	6.037	53.57	
エチレンクロロヒドリン	アルコール	C ₂ H ₅ OCl	10.65	1.39	1.0000	0.00970	0.3606	4.561	54.34	
エタン	鎖状炭化水素	C ₂ H ₆	3.81	1.08	0.9998	53.80	196.1	485.9	1179	
ジメチルエーテル	エーテル	C ₂ H ₆ O	5.56	1.17	0.9999	6.687	44.19	166.3	606.7	
エタノール	アルコール	C ₂ H ₆ O	10.19	1.52	1.0000	0.0742	2.361	26.77	286.8	
エチレングリコール	アルコール	C ₂ H ₆ O ₂	13.79	1.53	1.0000	0.00020	0.0214	0.5736	14.20	
硫化ジメチル	硫黄化合物	C ₂ H ₆ S	7.11	1.20	0.9997	0.6405	7.159	38.95	203.7	ガスの付臭剤
エタンチオール	硫黄化合物	C ₂ H ₆ S	7.05	1.20	0.9997	0.7006	7.664	41.08	211.7	
二硫化ジメチル	硫黄化合物	C ₂ H ₆ S ₂	8.40	1.14	0.9969	0.0417	0.7224	5.345	37.74	
エチルアミン	含窒素化合物	C ₂ H ₇ N	7.21	1.30	0.9998	1.462	16.92	94.33	505.1	
ジメチルアミン	含窒素化合物	C ₂ H ₇ N	6.47	1.21	0.9998	2.085	18.75	87.58	394.5	

別表 種々の物質の空气中の飽和蒸気圧の外挿値 (6)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C	
2-アミノエタノール	アルコール	C_2H_7NO	13.18	1.56	0.9996	0.00070	0.0617	1.426	30.61	
エチレンジアミン	含窒素化合物	$C_2H_8N_2$	10.05	1.35	0.9995	0.0190	0.5761	6.317	65.48	
ジメチルシラン	複素原子化合物	C_2H_6Si	5.36	1.11	0.9998	5.139	31.70	113.6	395.4	
テトラクロロエチレン	ハロゲン化物	C_2Cl_4	9.11	1.21	0.9997	0.0243	0.5354	4.695	39.13	オゾン層破壊物質
ヘキサクロロエタン	ハロゲン化物	C_2Cl_6	12.23	1.39	0.9999	0.00074	0.0467	0.8610	14.81	オゾン層破壊物質
クロロトリフルオロエチレン	ハロゲン化物	C_2F_3Cl	5.49	1.17	0.9995	7.686	49.63	183.8	659.9	オゾン層破壊物質
1,1,2-トリクロロトリフルオロエタン	ハロゲン化物	$C_2F_3Cl_3$	7.30	1.19	0.9999	0.4264	5.086	28.97	158.4	オゾン層破壊物質
ジシアン	含窒素化合物	C_2N_2	7.64	1.59	0.9994	11.02	147.4	909.9	5381	
アクリロニトリル	含窒素化合物	C_3H_3N	8.38	1.24	0.9997	0.1097	1.885	13.86	97.30	
アレン	鎖状炭化水素	C_3H_4	5.54	1.22	0.9971	11.29	74.12	277.7	1008	
アクリルアルデヒド	アルデヒド	C_3H_4O	7.42	1.19	0.9997	0.3506	4.355	25.52	143.5	
アクリル酸	カルボン酸	$C_3H_4O_2$	10.99	1.39	0.9995	0.00571	0.2378	3.256	41.94	
ヒルビン酸	カルボン酸	$C_3H_4O_3$	11.62	1.39	0.9999	0.00191	0.0990	1.579	23.59	
1,2,3-トリブromoプロパン	ハロゲン化物	$C_3H_5Br_3$	11.86	1.26	0.9999	0.00037	0.0206	0.3482	5.502	
3-クロロプロペン	ハロゲン化物	C_3H_5Cl	7.41	1.22	0.9997	0.4723	5.842	34.12	191.3	
1-クロロプロペン	ハロゲン化物	C_3H_5Cl	6.39	1.08	0.9997	0.6697	5.854	26.81	118.5	
1,2,3-トリクロロプロパン	ハロゲン化物	$C_3H_5Cl_3$	10.35	1.26	0.9996	0.00498	0.1673	1.970	21.90	オゾン層破壊物質
プロピオノニトリル	含窒素化合物	C_3H_5N	8.59	1.21	0.9999	0.0605	1.118	8.661	63.95	
エビクロルヒドリン	エーテル	C_3H_5OCl	9.62	1.29	0.9999	0.0213	0.5597	5.543	52.01	

別表 種々の物質の空气中の飽和蒸気圧の外挿値 (7)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値			存在、用途	
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C		300°C
プロパン	鎖状炭化水素	C ₃ H ₆	4.87	1.13	0.9996	14.69	76.87	245.5	763.0	
シクロプロパン	環状炭化水素	C ₃ H ₆	5.21	1.14	0.9998	8.543	50.07	173.2	581.8	
1,2-ジプロモプロパン	ハロゲン化物	C ₃ H ₄ Br ₂	9.61	1.21	0.9998	0.0107	0.2788	2.750	25.70	
1,3-ジプロモプロパン	ハロゲン化物	C ₃ H ₄ Br ₂	10.17	1.21	0.9999	0.00391	0.1234	1.392	14.83	
1,1-ジクロロプロパン	ハロゲン化物	C ₃ H ₄ Cl ₂	8.39	1.22	0.9997	0.0868	1.498	11.06	77.94	オゾン層破壊物質
1,2-ジクロロプロパン	ハロゲン化物	C ₃ H ₄ Cl ₂	8.56	1.21	0.9997	0.0632	1.156	8.879	65.03	オゾン層破壊物質
アセトン	ケトン	C ₃ H ₆ O	7.70	1.22	0.9998	0.2993	4.092	25.64	153.9	
プロピレンオキシド	エーテル	C ₃ H ₆ O	7.43	1.27	0.9992	0.7204	8.969	52.63	296.3	
プロピオンアルデヒド	アルデヒド	C ₃ H ₆ O	7.55	1.23	0.9997	0.4140	5.377	32.51	188.4	
プロピオン酸	カルボン酸	C ₃ H ₆ O ₂	11.09	1.40	0.9999	0.00542	0.2337	3.280	43.28	
酢酸メチル	エステル	C ₃ H ₆ O ₂	8.16	1.30	0.9995	0.2733	4.369	30.56	204.2	
ギ酸エチル	エステル	C ₃ H ₆ O ₂	8.08	1.28	0.9995	0.2766	4.300	29.49	193.4	
2,3-ジプロモ-1-プロパノール	アルコール	C ₃ H ₆ OBr ₂	13.03	1.38	1.0000	0.00017	0.0143	0.3193	6.618	
臭化イソプロピル	ハロゲン化物	C ₃ H ₇ Br	7.41	1.16	0.9998	0.2737	3.392	19.84	111.4	
臭化プロピル	ハロゲン化物	C ₃ H ₇ Br	7.84	1.19	0.9997	0.1760	2.517	16.28	100.7	
塩化イソプロピル	ハロゲン化物	C ₃ H ₇ Cl	7.12	1.21	0.9997	0.7040	7.893	43.04	225.5	
塩化プロピル	ハロゲン化物	C ₃ H ₇ Cl	7.27	1.19	0.9997	0.4501	5.304	29.95	162.4	
フッ化プロピル	ハロゲン化物	C ₃ H ₇ F	6.08	1.18	0.9998	2.917	22.98	97.79	402.3	
ヨウ化イソプロピル	ハロゲン化物	C ₃ H ₇ I	8.05	1.16	0.9999	0.0907	1.394	9.490	61.75	

別表 種々の物質の空气中の飽和蒸気圧の外挿値 (8)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C	
ヨウ化プロピル	ハロゲン化物	C ₃ H ₇ I	8.42	1.17	0.9996	0.0550	0.9604	7.142	50.67	
プロピオンアミド	アミド	C ₃ H ₇ NO	14.63	1.57	0.9999	0.000070	0.0100	0.3267	9.818	
2-ニトロプロパン	含窒素化合物	C ₃ H ₇ NO ₂	9.35	1.24	0.9998	0.0222	0.5320	4.936	43.47	
1-ニトロプロパン	含窒素化合物	C ₃ H ₇ NO ₂	9.78	1.26	0.9998	0.0133	0.3667	3.769	36.67	
カルバミド酸エチル	エステル	C ₃ H ₇ NO ₂	13.00	1.49	0.9999	0.00049	0.0404	0.8931	18.37	
プロパン	鎖状炭化水素	C ₃ H ₈	4.92	1.12	0.9998	11.47	61.01	197.2	619.9	
2-プロパノール	アルコール	C ₃ H ₈ O	10.56	1.55	0.9999	0.0575	2.072	25.65	299.2	
1-プロパノール	アルコール	C ₃ H ₈ O	11.11	1.57	0.9995	0.0269	1.166	16.45	218.0	
プロパノール	アルコール	C ₃ H ₈ O	11.18	1.58	0.9999	0.0255	1.135	16.30	219.9	
アリルアルコール	アルコール	C ₃ H ₈ O	10.76	1.52	0.9993	0.0305	1.177	15.28	186.7	
2-メトキシエタノール	アルコール	C ₃ H ₈ O ₂	9.85	1.30	0.9999	0.0159	0.4492	4.694	46.42	
1,2-プロパンジオール	アルコール	C ₃ H ₈ O ₂	13.57	1.54	1.0000	0.00031	0.0310	0.7856	18.48	
1,3-プロパンジオール	アルコール	C ₃ H ₈ O ₂	15.23	1.64	0.9992	0.000047	0.00831	0.3130	10.83	
グリセリン	アルコール	C ₃ H ₈ O ₃	17.40	1.62	0.9992	0.000001	0.00038	0.0240	1.373	
1-プロパンチオール	硫黄化合物	C ₃ H ₈ S	7.85	1.21	0.9997	0.1963	2.818	18.27	113.4	
トリメチルアミン	含窒素化合物	C ₃ H ₉ N	6.40	1.21	0.9997	2.445	21.51	98.90	438.9	
イソプロピルアミン	含窒素化合物	C ₃ H ₉ N	7.52	1.29	0.9992	0.7744	9.956	59.76	344.0	
プロピルアミン	含窒素化合物	C ₃ H ₉ N	7.81	1.27	0.9999	0.4002	5.680	36.55	225.1	
リン酸トリメチル	エステル	C ₃ H ₉ O ₄ P	10.94	1.23	1.0000	0.00130	0.0533	0.7231	9.223	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (9)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C	
二酸化三炭素	ケトン	C ₃ O ₂	6.25	1.17	0.9999	2.038	17.01	75.38	322.6	
無水マレイン酸	酸無水物	C ₄ H ₂ O ₃	11.81	1.31	0.9995	0.00066	0.0362	0.6034	9.415	
ビニルアセチレン	鎖状炭化水素	C ₄ H ₄	6.57	1.24	0.9996	2.299	21.38	102.2	471.2	
フラン	複素環化合物	C ₄ H ₄ O	7.16	1.23	0.9996	0.8035	9.127	50.22	265.5	
無水コハク酸	酸無水物	C ₄ H ₄ O ₃	13.89	1.36	1.0000	0.000031	0.00350	0.0959	2.430	
チオフェン	複素環化合物	C ₄ H ₄ S	8.31	1.22	0.9997	0.1011	1.699	12.31	85.13	
アリルイソチオシアナート	含窒素化合物	C ₄ H ₅ NS	9.96	1.23	0.9998	0.00666	0.1958	2.101	21.33	わさび
トリクロロ酢酸エチル	エステル	C ₄ H ₅ O ₂ Cl ₃	11.42	1.36	0.9998	0.00201	0.0971	1.475	21.02	
1,3-ブタジエン	鎖状炭化水素	C ₄ H ₆	5.93	1.16	0.9997	3.083	23.07	94.74	376.3	ガスの付臭剤
1-ブテン	鎖状炭化水素	C ₄ H ₆	6.55	1.22	0.9997	2.009	18.56	88.35	405.5	
1,2-ブタジエン	鎖状炭化水素	C ₄ H ₆	6.29	1.16	0.9998	1.740	14.72	65.88	284.6	
メタクリル酸	カルボン酸	C ₄ H ₆ O ₂	12.30	1.48	1.0000	0.00149	0.0971	1.820	31.85	
イソクロトン酸	カルボン酸	C ₄ H ₆ O ₂	12.72	1.49	0.9999	0.00084	0.0630	1.304	25.16	
クロトン酸	カルボン酸	C ₄ H ₆ O ₂	13.24	1.51	1.0000	0.00041	0.0367	0.8595	18.71	
アクリル酸メチル	エステル	C ₄ H ₆ O ₂	8.40	1.24	0.9998	0.1114	1.932	14.30	101.0	
ジクロロ酢酸エチル	エステル	C ₄ H ₆ O ₂ Cl ₂	10.68	1.30	0.9999	0.00401	0.1507	1.920	23.04	
無水酢酸	酸無水物	C ₄ H ₆ O ₃	10.56	1.34	0.9995	0.00759	0.2734	3.380	39.40	
シウ酸ジメチル	エステル	C ₄ H ₆ O ₄	11.51	1.38	1.0000	0.00212	0.1056	1.640	23.87	
酢酸ビニル	エステル	C ₄ H ₆ O ₆	8.34	1.26	0.9996	0.1474	2.502	18.26	127.1	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (10)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C	
クロロ酢酸エチル	エステル	C ₄ H ₇ O ₂ Cl	10.44	1.31	1.0000	0.00654	0.2265	2.726	30.95	
2-メチルプロパン	鎖状炭化水素	C ₄ H ₈	5.80	1.14	0.9996	3.349	23.97	95.43	367.7	
1-ブテン	鎖状炭化水素	C ₄ H ₈	5.83	1.14	0.9997	3.262	23.59	94.56	366.9	
trans-2-ブテン	鎖状炭化水素	C ₄ H ₈	6.01	1.15	0.9997	2.514	19.34	80.95	327.6	
cis-2-ブテン	鎖状炭化水素	C ₄ H ₈	6.16	1.17	0.9997	2.295	18.60	80.78	338.9	
シクロブタン	環状炭化水素	C ₄ H ₈	6.24	1.14	0.9998	1.627	13.52	59.75	255.0	
1,2-ジプロモ-2-メチルプロパン	ハロゲン化物	C ₄ H ₈ Br ₂	7.44	0.92	0.9998	0.0256	0.3197	1.882	10.63	
ブタノン	ケトン	C ₄ H ₈ O	8.68	1.29	0.9986	0.1104	2.103	16.63	125.3	
テトラヒドロフラン	エーテル	C ₄ H ₈ O	7.30	1.13	0.9997	0.2319	2.765	15.74	86.03	
ブチルアルデヒド	アルデヒド	C ₄ H ₈ O	8.24	1.24	0.9996	0.1414	2.320	16.53	112.5	
イソ酪酸	カルボン酸	C ₄ H ₈ O ₂	12.09	1.48	0.9993	0.00215	0.1301	2.318	38.59	
酪酸	カルボン酸	C ₄ H ₈ O ₂	12.39	1.49	0.9997	0.00136	0.0913	1.747	31.21	
酢酸エチル	エステル	C ₄ H ₈ O ₂	8.78	1.31	0.9997	0.1162	2.288	18.51	142.7	葎、オレンジ、ぶどう
ギ酸プロピル	エステル	C ₄ H ₈ O ₂	8.73	1.29	0.9994	0.1032	2.001	16.03	122.3	
プロピオン酸メチル	エステル	C ₄ H ₈ O ₂	8.66	1.28	0.9998	0.1059	2.005	15.79	118.4	
1,4-ジオキサン	エーテル	C ₄ H ₈ O ₂	9.11	1.27	0.9996	0.0451	0.9937	8.706	72.49	
2-ヒドロキシイソ酪酸	カルボン酸	C ₄ H ₈ O ₃	15.78	1.70	1.0000	0.000035	0.00738	0.3167	12.44	
臭化ブチル	ハロゲン化物	C ₄ H ₉ Br	8.61	1.20	0.9997	0.0528	0.9833	7.654	56.77	
2-クロロブタン	ハロゲン化物	C ₄ H ₉ Cl	7.83	1.20	0.9997	0.1932	2.757	17.81	110.1	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (11)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C	
塩化ブチル	ハロゲン化合物	C ₄ H ₉ Cl	8.07	1.20	0.9997	0.1301	2.013	13.77	89.98	
ヨウ化ブチル	ハロゲン化合物	C ₄ H ₉ I	9.11	1.18	0.9996	0.0185	0.4082	3.580	29.84	
イソブタン	鎖状炭化水素	C ₄ H ₁₀	5.62	1.13	0.9997	3.913	26.37	100.6	371.8	
ブタン	鎖状炭化水素	C ₄ H ₁₀	5.93	1.14	0.9997	2.626	19.65	80.70	320.6	
ジエチルエーテル	エーテル	C ₄ H ₁₀ O	7.10	1.21	0.9997	0.7106	7.921	43.02	224.5	
2-ブタノール	アルコール	C ₄ H ₁₀ O	11.26	1.58	0.9995	0.0233	1.062	15.53	213.1	
イソブチルアルコール	アルコール	C ₄ H ₁₀ O	11.42	1.57	0.9995	0.0157	0.7575	11.52	164.3	
1-ブタノール	アルコール	C ₄ H ₁₀ O	11.82	1.59	0.9999	0.00925	0.5117	8.556	133.9	
1,2-ジメトキシエタン	エーテル	C ₄ H ₁₀ O ₂	8.39	1.23	0.9996	0.0944	1.629	12.02	84.68	
2,3-ブタンジオール	アルコール	C ₄ H ₁₀ O ₂	13.57	1.56	1.0000	0.00036	0.0365	0.9258	21.77	
1,3-ブタンジオール	アルコール	C ₄ H ₁₀ O ₂	12.19	1.33	1.0000	0.00041	0.0259	0.4731	8.059	
グリコール酸エチル	エステル	C ₄ H ₁₀ O ₃	11.15	1.35	1.0000	0.00299	0.1319	1.880	25.17	
ジエチレングリコール	エーテル	C ₄ H ₁₀ O ₃	15.41	1.56	0.9993	0.000016	0.00305	0.1198	4.314	
亜硫酸ジエチル	エステル	C ₄ H ₁₀ O ₃ S	10.53	1.28	0.9998	0.00410	0.1463	1.799	20.86	
硫酸ジエチル	エステル	C ₄ H ₁₀ O ₄ S	12.29	1.33	0.9998	0.00037	0.0238	0.4449	7.771	
1-ブタンチオール	硫黄化合物	C ₄ H ₁₀ S	8.63	1.22	0.9996	0.0580	1.086	8.477	63.09	ガスの付臭剤
硫化ジエチル	硫黄化合物	C ₄ H ₁₀ S	13.08	2.11	0.9764	0.1796	15.24	344.1	7219	
二硫化ジエチル	硫黄化合物	C ₄ H ₁₀ S ₂	10.06	1.23	0.9996	0.00611	0.1860	2.044	21.23	
ジエチルアミン	含窒素化合物	C ₄ H ₁₁ N	7.88	1.26	0.9996	0.3023	4.385	28.65	179.1	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (12)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値			存在、用途	
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C		300°C
イソブチルアミン	含窒素化合物	C ₄ H ₁₁ N	8.25	1.27	0.9997	0.1800	2.959	21.11	143.8	
ブチルアミン	含窒素化合物	C ₄ H ₁₁ N	8.53	1.27	0.9998	0.1174	2.123	16.19	117.8	
テトラメチルシラン	複素原子化合物	C ₄ H ₁₂ Si	6.53	1.14	0.9998	0.9506	8.719	41.29	188.6	
2-クロロピリジン	複素環化合物	C ₅ H ₄ NCl	10.44	1.23	1.0000	0.00313	0.1082	1.302	14.77	
フルフラール	複素環化合物	C ₅ H ₄ O ₂	11.44	1.38	1.0000	0.00230	0.1121	1.713	24.54	
ピリジン	複素環化合物	C ₅ H ₅ N	9.28	1.25	0.9996	0.0271	0.6334	5.780	50.08	
フルフリルアルコール	複素環化合物	C ₅ H ₆ O ₂	12.72	1.50	1.0000	0.00088	0.0658	1.364	26.32	ごま油
2-メチルチオフェン	複素環化合物	C ₅ H ₆ S	9.04	1.23	0.9996	0.0323	0.6958	5.996	49.12	
シアノ酢酸エチル	エステル	C ₅ H ₇ NO ₂	15.69	1.71	0.9999	0.000045	0.00925	0.3891	14.98	
1-ペンテン	鎖状炭化水素	C ₅ H ₈	7.34	1.23	0.9995	0.5694	6.890	39.64	218.9	
2-メチル-1,3-ブタジエン	鎖状炭化水素	C ₅ H ₈	6.84	1.17	0.9998	0.7319	7.459	38.04	186.7	
3-メチル-1,2-ブタジエン	鎖状炭化水素	C ₅ H ₈	7.15	1.19	0.9997	0.5602	6.338	34.78	183.4	
trans-1,3-ペンタジエン	鎖状炭化水素	C ₅ H ₈	7.09	1.18	0.9997	0.5391	5.986	32.42	168.8	
cis-1,3-ペンタジエン	鎖状炭化水素	C ₅ H ₈	7.21	1.19	0.9997	0.4960	5.727	31.88	170.4	
アクリル酸エチル	エステル	C ₅ H ₈ O ₂	8.89	1.25	0.9996	0.0514	1.048	8.707	68.81	
メタクリル酸メチル	エステル	C ₅ H ₈ O ₂	8.70	1.22	0.9993	0.0505	0.9690	7.709	58.41	
3-メチル-1-ブテン	鎖状炭化水素	C ₅ H ₁₀	6.40	1.14	0.9997	1.236	10.85	49.81	220.7	
2-メチル-1-ブテン	鎖状炭化水素	C ₅ H ₁₀	6.83	1.18	0.9997	0.8184	8.305	42.22	206.6	
1-ペンテン	鎖状炭化水素	C ₅ H ₁₀	6.71	1.16	0.9997	0.8564	8.367	41.42	197.5	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (13)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C	
cis-2-ペンテン	鎖状炭化水素	C ₅ H ₁₀	7.01	1.19	0.9998	0.6620	7.153	38.01	194.2	
trans-2-ペンテン	鎖状炭化水素	C ₅ H ₁₀	6.94	1.17	0.9997	0.6704	7.077	36.99	186.0	
2-メチル-2-ブテン	鎖状炭化水素	C ₅ H ₁₀	6.95	1.17	0.9998	0.6166	6.530	34.21	172.4	
シクロペンタン	環状炭化水素	C ₅ H ₁₀	7.20	1.17	0.9997	0.4128	4.753	26.40	140.9	
イソプロピルメチルケトン	ケトン	C ₅ H ₁₀ O	8.88	1.27	0.9982	0.0637	1.299	10.78	85.12	
3-ペンタノン	ケトン	C ₅ H ₁₀ O	9.04	1.26	0.9997	0.0453	0.9758	8.410	68.91	
2-ペンタノン	ケトン	C ₅ H ₁₀ O	9.02	1.26	0.9997	0.0451	0.9617	8.239	67.12	
ペンタナール	アルデヒド	C ₅ H ₁₀ O	9.03	1.26	0.9994	0.0439	0.9419	8.096	66.17	
イソ吉草酸	カルボン酸	C ₅ H ₁₀ O ₂	12.78	1.49	0.9999	0.00074	0.0564	1.185	23.19	
ペンタン酸(吉草酸)	カルボン酸	C ₅ H ₁₀ O ₂	13.36	1.53	1.0000	0.00039	0.0364	0.8772	19.61	
酪酸メチル	エステル	C ₅ H ₁₀ O ₂	9.25	1.29	0.9998	0.0413	0.9549	8.650	74.41	苺、リンゴ
酢酸イソプロピル	エステル	C ₅ H ₁₀ O ₂	8.61	1.24	0.9999	0.0779	1.451	11.29	83.79	
イソ酪酸メチル	エステル	C ₅ H ₁₀ O ₂	8.90	1.27	0.9998	0.0636	1.303	10.86	86.07	
プロピオン酸エチル	エステル	C ₅ H ₁₀ O ₂	9.44	1.33	0.9995	0.0448	1.105	10.48	94.27	
酢酸プロピル	エステル	C ₅ H ₁₀ O ₂	9.28	1.30	0.9996	0.0422	0.9844	8.982	77.81	
ギ酸ブチル	エステル	C ₅ H ₁₀ O ₂	9.10	1.26	1.0000	0.0378	0.8311	7.272	60.47	
炭酸ジエチル	エステル	C ₅ H ₁₀ O ₃	9.99	1.31	0.9998	0.0145	0.4291	4.634	47.33	
1-ヨードペンタン	ハロゲン化合物	C ₅ H ₁₁ I	9.82	1.20	0.9996	0.00637	0.1788	1.856	18.23	
ピペリジン	複素環化合物	C ₅ H ₁₁ N	9.13	1.26	0.9996	0.0378	0.8390	7.395	61.93	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (14)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C	
イソペンタン	鎖状炭化水素	C ₅ H ₁₂	6.60	1.15	0.9997	0.9287	8.734	42.10	195.6	
ペンタン	鎖状炭化水素	C ₅ H ₁₂	6.88	1.17	0.9997	0.6802	7.041	36.30	180.1	
エチルプロピルエーテル	エーテル	C ₅ H ₁₂ O	7.90	1.23	0.9994	0.2245	3.277	21.51	135.0	
2-ペンタノール	アルコール	C ₅ H ₁₂ O	11.79	1.57	0.9989	0.00880	0.4807	7.967	123.6	
3-ペンタノール	アルコール	C ₅ H ₁₂ O	11.16	1.50	0.9999	0.0126	0.5555	7.926	106.2	
1-ペンタノール	アルコール	C ₅ H ₁₂ O	12.25	1.56	0.9993	0.00360	0.2304	4.263	73.66	
ジエチレングリコールブチルエーテル	エーテル	C ₅ H ₁₂ O ₃	13.31	1.39	0.9978	0.00011	0.0100	0.2396	5.304	
3-メチル-1-ブタンチオール	硫黄化合物	C ₅ H ₁₂ S	8.90	1.18	0.9977	0.0261	0.5358	4.461	35.34	
ペンチルアミン	含窒素化合物	C ₅ H ₁₃ N	9.23	1.28	0.9998	0.0387	0.8902	8.034	68.86	
ペンタクロロベンゼン	芳香族ハロ化合物	C ₆ HCl ₅	14.92	1.42	0.9999	0.000010	0.00158	0.0553	1.779	
1,2,3,4-テトラクロロベンゼン	芳香族ハロ化合物	C ₆ H ₂ Cl ₄	12.67	1.26	0.9993	0.000096	0.00711	0.1456	2.777	
1,3,5-トリクロロベンゼン	芳香族ハロ化合物	C ₆ H ₃ Cl ₃	11.17	1.21	0.9999	0.00077	0.0342	0.4893	6.585	
p-ジブromoベンゼン	芳香族ハロ化合物	C ₆ H ₄ Br ₂	11.66	1.24	1.0000	0.00043	0.0227	0.3658	5.519	
m-ジクロロベンゼン	芳香族ハロ化合物	C ₆ H ₄ Cl ₂	10.40	1.22	0.9999	0.00301	0.1027	1.224	13.76	
o-ジクロロベンゼン	芳香族ハロ化合物	C ₆ H ₄ Cl ₂	10.60	1.22	0.9997	0.00223	0.0815	1.018	12.00	
プロモベンゼン	芳香族ハロ化合物	C ₆ H ₅ Br	9.97	1.22	0.9996	0.00607	0.1789	1.922	19.53	
クロロベンゼン	芳香族ハロ化合物	C ₆ H ₅ Cl	9.55	1.24	0.9997	0.0148	0.3799	3.697	34.11	
フルオロベンゼン	芳香族ハロ化合物	C ₆ H ₅ F	8.25	1.20	0.9998	0.0981	1.613	11.51	78.36	
ヨードベンゼン	芳香族ハロ化合物	C ₆ H ₅ I	10.77	1.22	0.9997	0.00165	0.0640	0.8331	10.21	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (15)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C	
ニトロベンゼン	芳香族化合物	$C_6H_5NO_2$	11.84	1.28	0.9995	0.00048	0.0269	0.4518	7.098	
p-クロロフェノール	フェノール	C_6H_5OCl	12.13	1.28	1.0000	0.00030	0.0186	0.3351	5.633	
ベンゼン	芳香族炭化水素	C_6H_6	8.59	1.28	0.9967	0.1130	2.089	16.18	119.4	
o-ニトロアニリン	アニリン	$C_6H_6N_2O_2$	15.12	1.41	0.9999	0.000007	0.00115	0.0421	1.419	
m-ニトロアニリン	アニリン	$C_6H_6N_2O_2$	15.83	1.43	0.9976	0.000002	0.00051	0.0224	0.8896	
p-ニトロアニリン	アニリン	$C_6H_6N_2O_2$	17.34	1.49	0.9998	0.000000	0.00011	0.00710	0.4007	
o-クロロアニリン	アニリン	C_6H_6NCl	11.97	1.30	0.9996	0.00047	0.0271	0.4689	7.596	
p-クロロアニリン	アニリン	C_6H_6NCl	12.65	1.31	1.0000	0.00016	0.0121	0.2455	4.653	
フェノール	アルコール	C_6H_6O	12.38	1.43	0.9993	0.00078	0.0519	0.9907	17.65	
カテコール	フェノール	$C_6H_6O_2$	13.72	1.38	0.9999	0.000053	0.00560	0.1474	3.591	
ヒドロキノール	フェノール	$C_6H_6O_2$	16.85	1.58	0.9975	0.000002	0.00055	0.0302	1.525	
ピロガロール	フェノール	$C_6H_6O_3$	15.59	1.40	0.9998	0.000003	0.00053	0.0216	0.8125	
チオフェノール	硫黄化合物	C_6H_6S	11.31	1.34	0.9998	0.00211	0.0982	1.451	20.14	
2-メチルピリジン	複素環化合物	C_6H_7N	9.87	1.28	1.0000	0.0136	0.3893	4.090	40.67	
アニリン	アニリン	C_6H_7N	11.60	1.33	0.9996	0.00113	0.0580	0.9200	13.69	
フェニルヒドラジン	含窒素化合物	$C_6H_8N_2$	13.53	1.37	0.9999	0.000065	0.00638	0.1601	3.723	
シクロヘキセン	環状炭化水素	C_6H_{10}	8.05	1.18	0.9997	0.1128	1.736	11.82	76.98	
4-メチル-3-ペンテン-2-オン	ケトン	$C_6H_{10}O$	9.94	1.29	0.9997	0.0129	0.3767	4.022	40.63	
シクロヘキサノン	環状炭化水素	$C_6H_{10}O$	9.84	1.20	0.9999	0.00645	0.1818	1.894	18.66	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (16)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C	
アセト酢酸エチル	エステル	C ₆ H ₁₀ O ₃	11.70	1.35	1.0000	0.00114	0.0608	0.9871	15.02	
アジピン酸	カルボン酸	C ₆ H ₁₀ O ₄	19.07	1.63	0.9998	0.000000	0.000046	0.00436	0.3682	
シユウ酸ジエチル	エステル	C ₆ H ₁₀ O ₄	13.84	1.58	1.0000	0.00028	0.0309	0.8360	20.93	
(R,R)-酒石酸ジメチル	エステル	C ₆ H ₁₀ O ₆	15.20	1.44	0.9999	0.000007	0.00128	0.0478	1.640	
硫化ジアリル	硫黄化合物	C ₆ H ₁₀ S	9.48	1.21	0.9999	0.0123	0.3083	2.950	26.78	玉ねぎ、にら
1-ヘキセン	鎖状炭化水素	C ₆ H ₁₂	7.61	1.18	0.9997	0.2377	3.148	19.30	113.4	
シクロヘキサン	環状炭化水素	C ₆ H ₁₂	8.40	1.25	0.9987	0.1188	2.058	15.23	107.5	ガスの付臭剤
メチルシクロペンタン	環状炭化水素	C ₆ H ₁₂	7.75	1.18	0.9997	0.1750	2.426	15.36	93.11	
3-ヘキサノン	ケトン	C ₆ H ₁₂ O	9.33	1.23	0.9998	0.0206	0.4897	4.525	39.69	
2-ヘキサノン	ケトン	C ₆ H ₁₂ O	9.49	1.24	0.9997	0.0170	0.4259	4.085	37.16	
ヘキサナール	アルデヒド	C ₆ H ₁₂ O	9.70	1.27	0.9997	0.0152	0.4093	4.128	39.43	オリーブ
シクロヘキサノール	アルコール	C ₆ H ₁₂ O	11.69	1.41	0.9999	0.00209	0.1103	1.785	27.06	
ヘキサノ酸 (カプロン酸)	カルボン酸	C ₆ H ₁₂ O ₂	14.28	1.56	0.9995	0.00012	0.0148	0.4444	12.31	
蟻酸ペンチル	エステル	C ₆ H ₁₂ O ₂	9.43	1.24	0.9998	0.0197	0.4835	4.573	41.03	プラム、リンゴ
酪酸エチル	エステル	C ₆ H ₁₂ O ₂	9.26	1.23	0.9996	0.0230	0.5328	4.838	41.72	パイナップル、パッションフルーツ
酢酸イソブチル	エステル	C ₆ H ₁₂ O ₂	9.29	1.24	0.9998	0.0249	0.5824	5.323	46.18	果実全般
イソ酪酸エチル	エステル	C ₆ H ₁₂ O ₂	9.13	1.25	0.9999	0.0332	0.7347	6.460	53.98	
イソ吉草酸メチル	エステル	C ₆ H ₁₂ O ₂	9.38	1.26	0.9999	0.0245	0.5914	5.520	48.90	
1-ヨードヘキサン	ハロゲン化物	C ₆ H ₁₃ I	10.52	1.21	0.9996	0.00229	0.0816	1.001	11.57	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (17)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C	
2,3-ジメチルブタン	鎖状炭化水素	C ₆ H ₁₄	7.30	1.16	0.9997	0.3020	3.604	20.53	112.3	
イソヘキサン	鎖状炭化水素	C ₆ H ₁₄	7.48	1.18	0.9997	0.2715	3.440	20.44	116.5	
ヘキサン	鎖状炭化水素	C ₆ H ₁₄	7.77	1.19	0.9997	0.1926	2.696	17.18	104.8	
ジイソプロピルエーテル	エーテル	C ₆ H ₁₄ O	7.96	1.22	0.9998	0.1872	2.790	18.58	118.4	
ジブロピルエーテル	エーテル	C ₆ H ₁₄ O	8.03	1.16	0.9999	0.0906	1.386	9.396	60.92	
3-ヘキサノール	アルコール	C ₆ H ₁₄ O	11.07	1.42	0.9999	0.00649	0.2778	3.878	50.90	
2-ヘキサノール	アルコール	C ₆ H ₁₄ O	11.91	1.51	0.9996	0.00385	0.2197	3.750	59.90	
1-ヘキサノール	アルコール	C ₆ H ₁₄ O	12.63	1.54	0.9992	0.00151	0.1097	2.224	42.03	
1,1-ジエトキシエタン	エーテル	C ₆ H ₁₄ O ₂	9.64	1.34	0.9999	0.0357	0.9439	9.393	88.57	
1,2-ジエトキシエタン	エーテル	C ₆ H ₁₄ O ₂	7.87	1.05	0.9997	0.0421	0.6096	3.974	24.80	
ジエチレングリコールジメチルエーテル	エーテル	C ₆ H ₁₄ O ₃	10.94	1.32	0.9999	0.00323	0.1324	1.793	22.83	
トリエチレングリコール	エーテル	C ₆ H ₁₄ O ₄	17.02	1.61	1.0000	0.000002	0.00059	0.0340	1.782	
トリエチルボラン	複素原子化合物	C ₆ H ₁₅ B	2.54	0.62	0.9964	5.508	13.03	23.85	43.04	
ヘキシルアミン	含窒素化合物	C ₆ H ₁₅ N	9.89	1.28	0.9997	0.0122	0.3517	3.713	37.08	
ジイソブチルアミン	含窒素化合物	C ₆ H ₁₅ N	9.90	1.26	0.9999	0.00981	0.2831	2.996	29.99	
リン酸トリエチル	エステル	C ₆ H ₁₅ O ₄ P	11.43	1.23	0.9999	0.00059	0.0286	0.4352	6.214	
ヘキサクロロベンゼン	芳香族ハロ化合物	C ₆ Cl ₆	15.41	1.38	0.9995	0.000003	0.00055	0.0214	0.7730	
ペルフルオロシクロヘキサン	ハロゲン化合物	C ₆ F ₁₂	10.12	1.64	0.9959	0.2628	8.172	91.17	961.0	
ペルフルオロヘキサン	ハロゲン化合物	C ₆ F ₁₄	7.99	1.27	0.9995	0.2801	4.221	28.33	181.8	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (18)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値			存在、用途	
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C		300°C
ヘキサフルオロベンゼン	芳香族ハロ化合物	C ₆ F ₆	8.61	1.28	0.9996	0.1067	1.985	15.44	114.4	
α, α, α -トリクロロトルエン	ハロゲン化合物	C ₇ H ₅ Cl ₃	11.98	1.29	0.9999	0.00040	0.0233	0.4048	6.572	
ベンゾニトリル	芳香族化合物	C ₇ H ₅ N	11.22	1.27	0.9999	0.00117	0.0526	0.7632	10.39	
イソシアニ化フェニル	含窒素化合物	C ₇ H ₅ N	10.54	1.26	0.9999	0.00344	0.1232	1.518	17.63	
イソシアニ酸フェニル	含窒素化合物	C ₇ H ₅ NO	10.36	1.23	0.9999	0.00372	0.1251	1.475	16.42	
o-ニトロベンズアルデヒド	アルデヒド	C ₇ H ₅ NO ₂	13.63	1.30	0.9999	0.00029	0.00296	0.0762	1.813	
イソチオシアニ酸フェニル	含窒素化合物	C ₇ H ₅ NS	12.33	1.31	0.9900	0.00028	0.0182	0.3438	6.057	
ベンズアルデヒド	アルデヒド	C ₇ H ₆ O	10.88	1.26	0.9997	0.00199	0.0799	1.067	13.42	グアヴァ、さくらんぼ、杏、桃
安息香酸	カルボン酸	C ₇ H ₆ O ₂	15.80	1.58	0.9993	0.000011	0.00232	0.1001	3.948	
サリチルアルデヒド	アルデヒド	C ₇ H ₆ O ₂	11.42	1.27	1.0000	0.00088	0.0424	0.6433	9.164	
p-ヒドロキシベンズアルデヒド	アルデヒド	C ₇ H ₆ O ₂	15.83	1.42	0.9999	0.000002	0.00047	0.0202	0.8036	
サリチル酸	カルボン酸	C ₇ H ₆ O ₃	17.31	1.72	0.9961	0.000003	0.00113	0.0700	3.926	
o-ブロモトルエン	芳香族ハロ化合物	C ₇ H ₇ Br	11.00	1.27	0.9989	0.00176	0.0736	1.010	13.05	
m-ブロモトルエン	芳香族ハロ化合物	C ₇ H ₇ Br	11.05	1.26	0.9999	0.00155	0.0660	0.9168	11.98	
p-ブロモトルエン	芳香族ハロ化合物	C ₇ H ₇ Br	10.62	1.21	0.9999	0.00194	0.0715	0.8966	10.60	
臭化ベンジル	ハロゲン化合物	C ₇ H ₇ Br	11.22	1.24	1.0000	0.00094	0.0426	0.6181	8.416	
o-クロロトルエン	芳香族ハロ化合物	C ₇ H ₇ Cl	10.11	1.22	0.9999	0.00502	0.1554	1.729	18.18	
p-クロロトルエン	芳香族ハロ化合物	C ₇ H ₇ Cl	10.00	1.20	1.0000	0.00490	0.1460	1.581	16.18	
塩化ベンジル	ハロゲン化合物	C ₇ H ₇ Cl	10.95	1.27	0.9999	0.00184	0.0759	1.031	13.19	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (19)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値			存在、用途	
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C		300°C
o-ヨードトルエン	芳香族ハロ化合物	C ₇ H ₇ I	11.22	1.21	0.9999	0.00070	0.0316	0.4580	6.234	
o-ニトロトルエン	芳香族化合物	C ₇ H ₇ NO ₂	12.17	1.28	1.0000	0.00028	0.0174	0.3169	5.380	
m-ニトロトルエン	芳香族化合物	C ₇ H ₇ NO ₂	11.81	1.22	1.0000	0.00028	0.0156	0.2596	4.054	
p-ニトロトルエン	芳香族化合物	C ₇ H ₇ NO ₂	11.93	1.22	1.0000	0.00022	0.0127	0.2186	3.508	
p-ブロモアニソール	芳香族エーテル	C ₇ H ₇ OBr	11.89	1.25	0.9999	0.00034	0.0190	0.3226	5.130	
o-クロロフェノール	フェノール	C ₇ H ₇ OCl	9.88	1.15	0.9974	0.00380	0.1090	1.148	11.44	
トルエン	芳香族炭化水素	C ₇ H ₈	8.85	1.21	0.9997	0.0368	0.7417	6.104	47.81	
アニソール	芳香族エーテル	C ₇ H ₈ O	10.43	1.27	0.9997	0.00486	0.1676	2.009	22.73	
o-クレゾール	フェノール	C ₇ H ₈ O	12.25	1.38	0.9994	0.00064	0.0409	0.7575	13.10	
p-クレゾール	フェノール	C ₇ H ₈ O	12.99	1.43	0.9993	0.00030	0.0244	0.5383	11.06	
m-クレゾール	フェノール	C ₇ H ₈ O	12.89	1.42	0.9994	0.00031	0.0248	0.5354	10.74	
ベンジルアルコール	アルコール	C ₇ H ₈ O	13.44	1.48	0.9989	0.00021	0.0200	0.4919	11.22	
グアイアコール	フェノール	C ₇ H ₈ O ₂	13.29	1.45	1.0000	0.00022	0.0197	0.4678	10.29	ごま油
ベンジルアミン	含窒素化合物	C ₇ H ₉ N	11.48	1.31	0.9999	0.00118	0.0580	0.8943	12.93	
N-メチルアニリン	アニリン	C ₇ H ₉ N	11.81	1.32	0.9997	0.00073	0.0400	0.6669	10.41	
o-トルイジン	アニリン	C ₇ H ₉ N	11.99	1.33	0.9997	0.00057	0.0336	0.5842	9.506	
p-トルイジン	アニリン	C ₇ H ₉ N	11.90	1.32	0.9997	0.00060	0.0342	0.5820	9.274	
m-トルイジン	アニリン	C ₇ H ₉ N	12.05	1.32	0.9997	0.00051	0.0304	0.5362	8.852	
2,4-トルエンジアミン	アニリン	C ₇ H ₁₀ N ₂	15.74	1.49	1.0000	0.000005	0.00100	0.0425	1.656	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (20)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値			存在、用途	
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C		300°C
グルタル酸	カルボン酸	C ₇ H ₁₂ O ₄	21.76	1.97	1.0000	0.000000	0.000032	0.00573	0.9047	
マロン酸ジエチル	エステル	C ₇ H ₁₂ O ₄	12.22	1.35	0.9999	0.00049	0.0312	0.5735	9.847	
レブリン酸エチル	エステル	C ₇ H ₁₂ O ₄	12.53	1.37	0.9998	0.00035	0.0243	0.4806	8.863	
1-ヘプテン	鎖状炭化水素	C ₇ H ₁₄	8.45	1.21	0.9996	0.0716	1.260	9.429	67.28	
メチルシクロヘキサン	環状炭化水素	C ₇ H ₁₄	8.34	1.17	0.9997	0.0592	1.004	7.323	50.97	
2-ヘプタノン	ケトン	C ₇ H ₁₄ O	12.62	1.56	0.9999	0.00180	0.1309	2.647	49.88	果実全般
ヘプタナール	アルデヒド	C ₇ H ₁₄ O	10.43	1.28	0.9995	0.00528	0.1821	2.187	24.77	アーモンド
ヘプタン酸	カルボン酸	C ₇ H ₁₄ O ₂	14.86	1.57	0.9994	0.000047	0.00726	0.2502	7.935	
酢酸イソペンチル	エステル	C ₇ H ₁₄ O ₂	10.29	1.30	0.9999	0.00758	0.2491	2.889	31.64	バナナ、洋梨、
カプロン酸メチル	エステル	C ₇ H ₁₄ O ₂	10.67	1.32	1.0000	0.00489	0.1826	2.317	27.71	パイナップル、苺
2-メチル酪酸エチル	エステル	C ₇ H ₁₄ O ₂	10.17	1.31	0.9997	0.0104	0.3281	3.700	39.41	ドリアン
イソ吉草酸エチル	エステル	C ₇ H ₁₄ O ₂	10.01	1.29	0.9999	0.0109	0.3266	3.546	36.41	
酢酸ペンチル	エステル	C ₇ H ₁₄ O ₂	10.48	1.32	0.9997	0.00710	0.2493	3.027	34.67	
ヘプタン	鎖状炭化水素	C ₇ H ₁₆	8.62	1.21	0.9996	0.0583	1.087	8.469	62.87	
1-ヘプタノール	アルコール	C ₇ H ₁₆ O	13.04	1.52	0.9990	0.00064	0.0535	1.196	24.83	
オルトギ酸トリエチル	エステル	C ₇ H ₁₆ O ₃	10.72	1.34	0.9999	0.00547	0.2077	2.668	32.28	
ヘプチルアミン	含窒素化合物	C ₇ H ₁₇ N	10.65	1.30	0.9995	0.00418	0.1552	1.961	23.35	
無水フタル酸	酸無水物	C ₈ H ₄ O ₃	13.07	1.22	0.9996	0.000034	0.00286	0.0645	1.351	
m-クロロステレン	芳香族ハロ化合物	C ₈ H ₇ Cl	10.79	1.22	1.0000	0.00153	0.0596	0.7802	9.614	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (21)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値			存在、用途	
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C		300°C
p-クロロスチレン	芳香族ハロ化合物	C ₈ H ₇ Cl	10.99	1.24	0.9999	0.00133	0.0554	0.7609	9.823	
フェニルアセトニトリル	含窒素化合物	C ₈ H ₇ N	12.63	1.30	1.0000	0.00016	0.0113	0.2295	4.331	
スチレン	芳香族炭化水素	C ₈ H ₈	9.85	1.23	0.9996	0.00871	0.2464	2.572	25.41	
アセトフェノン	ケトン	C ₈ H ₈ O	11.77	1.30	0.9996	0.00064	0.0347	0.5721	8.834	ごま油
フェニル酢酸	カルボン酸	C ₈ H ₈ O ₂	15.39	1.49	0.9999	0.000009	0.00170	0.0666	2.392	
安息香酸メチル	エステル	C ₈ H ₈ O ₂	11.71	1.30	0.9995	0.00071	0.0378	0.6144	9.358	キウイフルーツ
酢酸フェニル	エステル	C ₈ H ₈ O ₂	12.01	1.34	0.9999	0.00062	0.0369	0.6443	10.53	
アニスアルデヒド	アルデヒド	C ₈ H ₈ O ₂	13.60	1.37	0.9998	0.000056	0.00564	0.1439	3.404	アニス、
サリチル酸メチル	エステル	C ₈ H ₈ O ₃	12.30	1.30	0.9994	0.00026	0.0170	0.3183	5.562	果実全般
バニリン	アルデヒド	C ₈ H ₈ O ₃	15.69	1.47	1.0000	0.000004	0.00090	0.0379	1.458	バニラ
アセトアニリド	アミド	C ₈ H ₉ NO	15.26	1.38	1.0000	0.000004	0.00069	0.0264	0.9195	
アントラニル酸メチル	エステル	C ₈ H ₉ NO ₂	13.19	1.28	0.9997	0.000049	0.00431	0.0998	2.146	ぶどう
エチルベンゼン	芳香族炭化水素	C ₈ H ₁₀	9.54	1.22	0.9997	0.0130	0.3312	3.216	29.62	
p-キシレン	芳香族炭化水素	C ₈ H ₁₀	9.58	1.22	0.9997	0.0120	0.3095	3.031	28.13	
m-キシレン	芳香族炭化水素	C ₈ H ₁₀	9.64	1.22	0.9997	0.0114	0.3006	2.987	28.13	
o-キシレン	芳香族炭化水素	C ₈ H ₁₀	9.77	1.22	0.9997	0.00924	0.2542	2.604	25.25	
フェネトール	芳香族エーテル	C ₈ H ₁₀ O	11.06	1.30	0.9998	0.00216	0.0924	1.289	16.90	メロン
o-エチルフェノール	フェノール	C ₈ H ₁₀ O	12.39	1.35	0.9999	0.00036	0.0241	0.4612	8.235	
2,4-キシレノール	フェノール	C ₈ H ₁₀ O	12.90	1.40	0.9993	0.00024	0.0194	0.4195	8.430	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (22)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値			存在、用途	
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C		300°C
p-エチルフェノール	フェノール	C ₈ H ₁₀ O	13.79	1.47	0.9999	0.00010	0.0113	0.3025	7.483	
メチルベンジルアルコール	アルコール	C ₈ H ₁₀ O	12.81	1.41	0.9997	0.00031	0.0239	0.5049	9.940	
フェネチルアルコール	アルコール	C ₈ H ₁₀ O	13.22	1.40	1.0000	0.00015	0.0133	0.3096	6.705	
N,N-ジメチルアニリン	アニリン	C ₈ H ₁₁ N	11.31	1.27	0.9998	0.00103	0.0481	0.7111	9.876	
N-エチルアニリン	アニリン	C ₈ H ₁₁ N	11.80	1.29	0.9999	0.00057	0.0313	0.5203	8.097	
2,4-キシリジン	アニリン	C ₈ H ₁₁ N	12.90	1.39	0.9999	0.00023	0.0186	0.4010	8.059	
2,6-キシリジン	アニリン	C ₈ H ₁₁ N	11.61	1.24	1.0000	0.00045	0.0233	0.3713	5.535	
アマル酸ジエチル	エステル	C ₈ H ₁₂ O ₄	12.63	1.34	1.0000	0.00023	0.0165	0.3349	6.321	
マレイン酸ジエチル	エステル	C ₈ H ₁₂ O ₄	12.79	1.34	0.9999	0.00017	0.0133	0.2803	5.489	
コハク酸ジエチル	エステル	C ₈ H ₁₄ O ₄	13.00	1.39	1.0000	0.00019	0.0155	0.3423	7.042	
1-オクタエン	鎖状炭化水素	C ₈ H ₁₆	9.24	1.23	0.9996	0.0230	0.5284	4.771	40.90	
2-オクタノン	ケトン	C ₈ H ₁₆ O	11.43	1.34	0.9999	0.00168	0.0815	1.240	17.70	
オクタナール	アルデヒド	C ₈ H ₁₆ O	11.08	1.30	0.9993	0.00204	0.0876	1.226	16.13	柑橘系果物
オクタノ酸 (カプリル酸)	カルボン酸	C ₈ H ₁₆ O ₂	16.70	1.73	0.9928	0.000010	0.00292	0.1558	7.579	
吉草酸プロピル	エステル	C ₈ H ₁₆ O ₂	10.70	1.31	0.9998	0.00414	0.1565	2.003	24.16	リンゴ
プロピオン酸ペンチル	エステル	C ₈ H ₁₆ O ₂	10.55	1.27	0.9999	0.00391	0.1408	1.740	20.26	バナナ
カプロン酸エチル	エステル	C ₈ H ₁₆ O ₂	10.81	1.31	0.9997	0.00344	0.1351	1.774	21.94	スターフルーツ、パイナップル
酪酸ブチル	エステル	C ₈ H ₁₆ O ₂	10.27	1.25	0.9998	0.00493	0.1612	1.862	20.31	オレング、リンゴ
オクタノン	鎖状炭化水素	C ₈ H ₁₈	9.42	1.24	0.9996	0.0187	0.4574	4.314	38.61	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (23)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C	
2-オクタノール	アルコール	C ₈ H ₁₈ O	12.82	1.49	0.9978	0.00066	0.0514	1.091	21.53	
1-オクタノール	アルコール	C ₈ H ₁₈ O	13.42	1.50	0.9989	0.00028	0.0267	0.6542	14.86	
オクタノール	カルボン酸	C ₈ H ₁₆ O ₂	15.39	1.57	0.9992	0.000020	0.00365	0.1427	5.121	
硫化ジブチル	硫黄化合物	C ₈ H ₁₈ S	11.50	1.32	1.0000	0.00124	0.0618	0.9577	13.92	
二硫化ジブチル	硫黄化合物	C ₈ H ₁₆ S ₂	12.45	1.29	0.9994	0.00019	0.0132	0.2557	4.636	
オクチルアミン	含窒素化合物	C ₈ H ₁₉ N	11.24	1.30	0.9997	0.00158	0.0716	1.043	14.26	
テトラエチル鉛	複素原子化合物	C ₈ H ₂₀ Pb	12.62	1.44	0.9965	0.00060	0.0438	0.8860	16.68	
クマリン	複素環化合物	C ₉ H ₆ O ₂	14.99	1.39	0.9999	0.000007	0.00106	0.0378	1.237	
キノリン	複素環化合物	C ₉ H ₇ N	12.36	1.27	0.9998	0.00017	0.0114	0.2162	3.839	
イソキノリン	複素環化合物	C ₉ H ₇ N	12.67	1.29	0.9999	0.00013	0.00947	0.1935	3.684	
クメン	芳香族炭化水素	C ₉ H ₈	9.88	1.22	0.9996	0.00741	0.2120	2.230	22.21	
インデン	芳香族炭化水素	C ₉ H ₈	10.54	1.21	1.0000	0.00215	0.0771	0.9490	11.01	
シンナムアルデヒド	アルデヒド	C ₉ H ₈ O	14.03	1.41	1.0000	0.000042	0.00493	0.1396	3.654	シナモン
ケイ皮酸	カルボン酸	C ₉ H ₈ O ₂	17.34	1.58	1.0000	0.000001	0.00029	0.0178	1.007	
スカトール	複素環化合物	C ₉ H ₉ N	15.21	1.48	0.9998	0.000010	0.00183	0.0688	2.371	
プロペニルベンゼン	芳香族炭化水素	C ₉ H ₁₀	10.52	1.22	0.9999	0.00238	0.0848	1.040	12.02	
p-メトキシスチレン	芳香族エーテル	C ₉ H ₁₀ O	12.41	1.36	0.9999	0.00039	0.0261	0.5031	9.032	
プロピオフェノン	ケトン	C ₉ H ₁₀ O	12.27	1.31	1.0000	0.00029	0.0189	0.3520	6.119	
シンナムイルアルコール	アルコール	C ₉ H ₁₀ O	13.29	1.33	0.9999	0.000065	0.00595	0.1410	3.104	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (24)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C	
3-フェニルプロピオン酸	カルボン酸	$C_9H_{10}O_2$	15.30	1.45	1.0000	0.000007	0.00123	0.0470	1.652	
安息香酸エチル	エステル	$C_9H_{10}O_2$	11.97	1.29	0.9998	0.00041	0.0240	0.4161	6.734	スターフルーツ、キウイフルーツ
酢酸ベンジル	エステル	$C_9H_{10}O_2$	11.96	1.29	0.9999	0.00041	0.0235	0.4060	6.562	
サリチル酸エチル	エステル	$C_9H_{10}O_3$	12.83	1.33	0.9999	0.00014	0.0111	0.2347	4.639	
プロピルベンゼン	芳香族炭化水素	C_9H_{12}	10.17	1.23	0.9996	0.00501	0.1581	1.782	18.98	
p-エチルトルエン	芳香族炭化水素	C_9H_{12}	10.16	1.22	0.9997	0.00463	0.1459	1.642	17.47	
1,2,4-トリメチルベンゼン	芳香族炭化水素	C_9H_{12}	10.51	1.24	0.9997	0.00315	0.1118	1.368	15.79	
1,2,3-トリメチルベンゼン	芳香族炭化水素	C_9H_{12}	10.68	1.25	0.9997	0.00239	0.0899	1.146	13.77	
ベンジルエチルエーテル	エーテル	$C_9H_{12}O$	11.10	1.27	1.0000	0.00145	0.0626	0.8796	11.63	
3-フェニル-1-プロパノール	アルコール	$C_9H_{12}O$	14.29	1.47	0.9999	0.000047	0.00600	0.1805	5.012	
N,N-ジメチル-o-トルイジン	アニリン	$C_9H_{13}N$	11.28	1.29	0.9996	0.00134	0.0618	0.9084	12.53	
N,N-ジメチル-p-トルイジン	アニリン	$C_9H_{13}N$	12.09	1.31	0.9993	0.00042	0.0256	0.4560	7.602	
2,4,5-トリメチルアニリン	アニリン	$C_9H_{13}N$	13.39	1.39	0.9981	0.000096	0.00907	0.2202	4.959	
2-ノナノン	ケトン	$C_9H_{18}O$	11.34	1.27	1.0000	0.00096	0.0453	0.6749	9.437	
ノナノール	アルデヒド	$C_9H_{18}O$	12.17	1.39	0.9997	0.00079	0.0494	0.8975	15.23	オレンジ、スターフルーツ、コリアンダー
ノナン酸	カルボン酸	$C_9H_{18}O_2$	16.06	1.61	0.9940	0.000009	0.00207	0.0951	3.986	
酪酸イソペンチル	エステル	$C_9H_{18}O_2$	10.89	1.26	0.9999	0.00195	0.0785	1.051	13.24	バナナ、洋梨、アプリコット
酪酸ペンチル	エステル	$C_9H_{18}O_2$	11.11	1.29	0.9997	0.00177	0.0768	1.085	14.39	バナナ
ノナン	鎖状炭化水素	C_9H_{20}	10.23	1.27	0.9997	0.00622	0.2006	2.298	24.85	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (25)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C	
ノナノール	アルコール	C ₉ H ₂₀ O	13.83	1.49	0.9999	0.00012	0.0133	0.3579	8.929	
1-ブロモナフタレン	芳香族ハロ化合物	C ₁₀ H ₇ Br	13.10	1.24	0.9998	0.000037	0.00314	0.0711	1.498	
1-クロロナフタレン	芳香族ハロ化合物	C ₁₀ H ₇ Cl	12.73	1.25	0.9997	0.000080	0.00602	0.1249	2.411	
ナフタレン	芳香族炭化水素	C ₁₀ H ₈	11.57	1.23	0.9997	0.00048	0.0243	0.3828	5.644	
1-ナフトール	フェノール	C ₁₀ H ₈ O	14.04	1.32	0.9998	0.000017	0.00199	0.0564	1.481	
2-ナフトール	フェノール	C ₁₀ H ₈ O	14.11	1.31	0.9999	0.000014	0.00171	0.0494	1.317	
1-ナフチルアミン	アニリン	C ₁₀ H ₉ N	14.34	1.31	1.0000	0.000009	0.00116	0.0354	0.9937	
2-ナフチルアミン	アニリン	C ₁₀ H ₉ N	14.46	1.30	1.0000	0.000007	0.00098	0.0306	0.8843	
m-ジビニルベンゼン	芳香族炭化水素	C ₁₀ H ₁₀	11.21	1.24	0.9999	0.00093	0.0419	0.6047	8.202	
桂皮酸メチル	エステル	C ₁₀ H ₁₀ O ₂	13.31	1.30	0.9997	0.000049	0.00446	0.1064	2.353	果実全般
サフロール	エーテル	C ₁₀ H ₁₀ O ₂	13.24	1.37	0.9999	0.00010	0.00919	0.2156	4.697	シナモン
フタル酸ジメチル	エステル	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	14.77	1.39	0.9999	0.000009	0.00141	0.0475	1.476	
テトラリン	芳香族炭化水素	C ₁₀ H ₁₂	11.34	1.24	0.9998	0.00072	0.0337	0.5025	7.024	
エストラゴール	芳香族エーテル	C ₁₀ H ₁₂ O	12.86	1.38	0.9998	0.00022	0.0173	0.3716	7.406	タラゴン
アネトール	エーテル	C ₁₀ H ₁₂ O	12.99	1.34	0.9998	0.00012	0.00974	0.2151	4.415	アニス、フェンネル
クミンアルデヒド	アルデヒド	C ₁₀ H ₁₂ O	12.65	1.31	0.9999	0.00016	0.0119	0.2414	4.577	クミン
オイゲノール	エーテル	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	13.89	1.38	0.9998	0.000039	0.00437	0.1195	3.028	クローブ、シナモン、ロリエ
t-プチルベンゼン	芳香族炭化水素	C ₁₀ H ₁₄	10.41	1.23	0.9996	0.00336	0.1153	1.377	15.52	
s-プチルベンゼン	芳香族炭化水素	C ₁₀ H ₁₄	10.49	1.23	0.9996	0.00287	0.1012	1.232	14.14	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (26)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値			存在、用途	
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C		300°C
ニコチン	複素環化合物	$C_{10}H_{14}N_2$	12.13	1.22	1.0000	0.00016	0.00976	0.1757	2.956	
カルバクロール	フェノール	$C_{10}H_{14}O$	13.75	1.41	0.9998	0.000066	0.00698	0.1846	4.525	オレガノ
カルボン	ケトン	$C_{10}H_{14}O$	12.77	1.33	0.9999	0.00017	0.0127	0.2655	5.185	キヤラウエイ
クミンアルコール	アルコール	$C_{10}H_{14}O$	13.78	1.39	0.9999	0.000051	0.00547	0.1459	3.602	花椒
チモール	アルコール	$C_{10}H_{14}O$	13.34	1.38	0.9999	0.000099	0.00920	0.2207	4.911	ゆず
N,N-ジエチルアニリン	アニリン	$C_{10}H_{15}N$	12.44	1.33	0.9999	0.00028	0.0193	0.3733	6.742	
α -ピネン	環状炭化水素	$C_{10}H_{16}$	9.70	1.18	1.0000	0.00692	0.1864	1.880	17.96	茗荷、ローズマリー、コリアンダー
β -ピネン	環状炭化水素	$C_{10}H_{16}$	10.17	1.23	0.9996	0.00501	0.1581	1.784	19.01	茗荷、ローズマリー、コリアンダー
ターピネン	環状炭化水素	$C_{10}H_{16}$	12.02	1.37	0.9998	0.00086	0.0508	0.8897	14.57	マンゴー
フェラントレン	環状炭化水素	$C_{10}H_{16}$	11.12	1.30	0.9997	0.00194	0.0846	1.198	15.93	ターメリック、胡椒
ミルセン	環状炭化水素	$C_{10}H_{16}$	10.69	1.26	0.9997	0.00271	0.1023	1.306	15.71	グレープフルーツ、ロリエ、
α -リモネン	環状炭化水素	$C_{10}H_{16}$	10.39	1.21	1.0000	0.00284	0.0965	1.147	12.87	柑橘系果物、花椒
カンフェン	環状炭化水素	$C_{10}H_{16}$	10.51	1.27	0.9999	0.00394	0.1397	1.708	19.68	
(+)-樟脳	ケトン	$C_{10}H_{16}O$	11.96	1.31	0.9994	0.00049	0.0285	0.4931	7.967	ターメリック、マジヨラム
フェンチオン	ケトン	$C_{10}H_{16}O$	11.26	1.27	0.9998	0.00115	0.0527	0.7705	10.58	
ネラール	アルデヒド	$C_{10}H_{16}O$	13.23	1.38	0.9999	0.00012	0.0106	0.2492	5.416	レモン
シトラール	アルデヒド	$C_{10}H_{16}O$	13.23	1.38	0.9999	0.00012	0.0106	0.2492	5.416	柑橘系果物、山椒
trans- デカリン	環状炭化水素	$C_{10}H_{18}$	10.46	1.19	0.9996	0.00204	0.0712	0.8606	9.817	
cis-デカリン	環状炭化水素	$C_{10}H_{18}$	10.77	1.20	0.9996	0.00138	0.0532	0.6922	8.472	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (27)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C	
シネオール	エーテル	C ₁₀ H ₁₈ O	10.56	1.23	0.9997	0.00262	0.0944	1.167	13.61	カルダモン、ターメリック、ロリエ
シトロネオール	アルデヒド	C ₁₀ H ₁₈ O	12.29	1.34	0.9998	0.00040	0.0259	0.4839	8.447	花椒
ターピネオール	アルコール	C ₁₀ H ₁₈ O	12.74	1.36	0.9998	0.00022	0.0167	0.3474	6.725	ライム、カルダモン
テルピネオール	アルコール	C ₁₀ H ₁₈ O	12.74	1.36	0.9998	0.00022	0.0167	0.3474	6.725	マジョラム
ゲラニオール	アルコール	C ₁₀ H ₁₈ O	14.04	1.46	0.9998	0.000065	0.00767	0.2177	5.713	花椒、山椒
リナロール	アルコール	C ₁₀ H ₁₈ O	12.25	1.36	0.9998	0.00052	0.0332	0.6155	10.65	パパイヤ、柑橘類果物、ロリエ
ネロール	アルコール	C ₁₀ H ₁₈ O	13.35	1.40	0.9999	0.00011	0.0107	0.2565	5.726	オレンジ、杏
1-デセン	鎖状炭化水素	C ₁₀ H ₂₀	10.77	1.27	0.9995	0.00266	0.1030	1.341	16.43	
メンタン	環状炭化水素	C ₁₀ H ₂₀	10.28	1.22	0.9997	0.00359	0.1178	1.363	14.89	
デカナール	アルデヒド	C ₁₀ H ₂₀ O	12.47	1.34	0.9992	0.00029	0.0200	0.3898	7.086	柑橘系果物、コリアンダー
(-)-メントール	アルコール	C ₁₀ H ₂₀ O	13.46	1.45	0.9998	0.00016	0.0156	0.3852	8.829	ミント
シトロネロール	アルコール	C ₁₀ H ₂₀ O	14.19	1.50	0.9999	0.000073	0.00907	0.2670	7.255	柑橘系果物
デカノン酸(カブリン酸)	カルボン酸	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	16.47	1.59	0.9989	0.000004	0.00101	0.0511	2.355	
吉草酸ペンチル	エステル	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	11.03	1.24	0.9999	0.00121	0.0510	0.7055	9.182	リンゴ
1-クロロデカン	ハロゲン化物	C ₁₀ H ₂₁ Cl	12.52	1.32	0.9996	0.00022	0.0156	0.3071	5.647	
デカン	鎖状炭化水素	C ₁₀ H ₂₂	10.81	1.27	0.9998	0.00236	0.0927	1.217	15.04	
デカノール	アルコール	C ₁₀ H ₂₂ O	14.05	1.46	0.9998	0.000063	0.00747	0.2120	5.567	
2-メチルナフタレン	芳香族炭化水素	C ₁₁ H ₁₀	12.27	1.25	0.9997	0.00017	0.0110	0.2045	3.555	
1-メチルナフタレン	芳香族炭化水素	C ₁₁ H ₁₀	12.38	1.25	0.9996	0.00015	0.00972	0.1855	3.305	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (28)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C	
桂皮酸エチル	エステル	$C_{11}H_{12}O_2$	13.88	1.33	0.9999	0.000025	0.00279	0.0762	1.926	スターフフルーツ
ミリスチシン	芳香族エーテル	$C_{11}H_{12}O_3$	14.51	1.37	0.9999	0.000013	0.00176	0.0558	1.631	ナツメグ
グルタル酸ジエチル	エステル	$C_{11}H_{20}O_4$	13.18	1.35	1.0000	0.000096	0.00846	0.1954	4.195	
ウンデカン酸	カルボン酸	$C_{11}H_{22}O_2$	14.45	1.34	0.9999	0.000010	0.00139	0.0434	1.250	
ウンデカン	鎖状炭化水素	$C_{11}H_{24}$	11.63	1.30	0.9995	0.000081	0.0421	0.6723	10.05	
1-ウンデカノール	アルコール	$C_{11}H_{24}O$	14.48	1.47	0.9984	0.000033	0.00452	0.1425	4.143	
ビフェニル	芳香族炭化水素	$C_{12}H_{10}$	12.87	1.27	0.9997	0.000080	0.00627	0.1345	2.682	
アゾベンゼン	含窒素化合物	$C_{12}H_{10}N_2$	14.57	1.34	0.9999	0.000009	0.00124	0.0397	1.177	
ジフェニルエーテル	エーテル	$C_{12}H_{10}O$	13.16	1.30	0.9996	0.000061	0.00528	0.1213	2.590	
硫化ジフェニル	硫黄化合物	$C_{12}H_{10}S$	13.75	1.27	0.9999	0.000017	0.00182	0.0482	1.180	
二硫化ジフェニル	硫黄化合物	$C_{12}H_{10}S_2$	17.50	1.57	1.0000	0.000001	0.00020	0.0131	0.7680	
ジフェニルアミン	含窒素化合物	$C_{12}H_{11}N$	14.69	1.33	1.0000	0.000006	0.00095	0.0315	0.9610	
1-エチルナフタレン	芳香族炭化水素	$C_{12}H_{12}$	12.99	1.28	0.9996	0.000068	0.00560	0.1236	2.539	
フタル酸ジエチル	エステル	$C_{12}H_{14}O_4$	15.18	1.40	1.0000	0.000005	0.00091	0.0337	1.150	
酢酸リナリル	エステル	$C_{12}H_{20}O_2$	12.93	1.37	0.9995	0.000019	0.0151	0.3278	6.640	柑橘系果物
クエン酸トリエチル	エステル	$C_{12}H_{20}O_7$	13.83	1.26	0.9943	0.000014	0.00155	0.0418	1.042	
ドデカノール	アルデヒド	$C_{12}H_{24}O$	13.66	1.35	0.9999	0.000042	0.00433	0.1121	2.688	
ラウリン酸	カルボン酸	$C_{12}H_{24}O_2$	17.25	1.58	0.9986	0.000001	0.00033	0.0200	1.105	
ドデカン	鎖状炭化水素	$C_{12}H_{26}$	12.28	1.32	0.9998	0.000032	0.0206	0.3838	6.685	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (29)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C	
1-ドデカノール	アルコール	C ₁₂ H ₂₆ O	15.15	1.49	0.9999	0.000013	0.00228	0.0841	2.855	
ドデシルアミン	含窒素化合物	C ₁₂ H ₂₇ N	14.82	1.49	0.9998	0.000023	0.00348	0.1188	3.732	
アクリジン	複素環化合物	C ₁₃ H ₉ N	15.03	1.27	1.0000	0.000002	0.00032	0.0115	0.3799	
フルオレン	芳香族炭化水素	C ₁₃ H ₁₀	13.70	1.26	0.9999	0.000016	0.00172	0.0450	1.090	
ベンゾフェノン	ケトン	C ₁₃ H ₁₀ O	14.50	1.31	1.0000	0.000007	0.00097	0.0306	0.8915	
ジフェニルメタン	芳香族炭化水素	C ₁₃ H ₁₂	13.07	1.27	0.9998	0.000055	0.00465	0.1048	2.193	オレンジ
ジフェニルメタノール	アルコール	C ₁₃ H ₁₂ O	15.53	1.41	0.9998	0.000003	0.00064	0.0260	0.9647	
ヨノン	ケトン	C ₁₃ H ₂₀ O	14.24	1.43	0.9999	0.000033	0.00420	0.1250	3.432	ラズベリー
2-トリデカノン	ケトン	C ₁₃ H ₂₆ O	14.24	1.39	1.0000	0.000023	0.00295	0.0877	2.409	
トリデカノ酸	カルボン酸	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	17.62	1.58	0.9984	0.000000	0.00019	0.0129	0.7789	
トリデカン	鎖状炭化水素	C ₁₃ H ₂₈	12.96	1.34	0.9994	0.00012	0.00992	0.2174	4.430	
1-トリデカノール	アルコール	C ₁₃ H ₂₈ O	15.28	1.47	0.9982	0.000009	0.00153	0.0582	2.039	
アントラキノン	芳香族化合物	C ₁₄ H ₈ O ₂	19.44	1.57	0.9885	0.000000	0.000015	0.00159	0.1462	
アントラセン	芳香族炭化水素	C ₁₄ H ₁₀	14.30	1.22	1.0000	0.000004	0.00052	0.0156	0.4341	
フェナントレン	芳香族炭化水素	C ₁₄ H ₁₀	14.51	1.24	0.9998	0.000004	0.00049	0.0154	0.4512	
ベンジル	ケトン	C ₁₄ H ₁₀ O ₂	14.92	1.26	0.9998	0.000002	0.00034	0.0118	0.3791	
無水安息香酸	酸無水物	C ₁₄ H ₁₀ O ₃	15.83	1.31	0.9999	0.000001	0.00016	0.00678	0.2696	
1,1-ジフェニルエチレン	芳香族炭化水素	C ₁₄ H ₁₂	13.58	1.29	0.9999	0.000028	0.00278	0.0706	1.665	
trans-スチルベン	芳香族炭化水素	C ₁₄ H ₁₂	14.93	1.35	1.0000	0.000005	0.00077	0.0269	0.8681	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (30)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C	
デオキシベンゾイン	ケトン	C ₁₄ H ₁₂ O	15.51	1.36	1.0000	0.000002	0.00042	0.0169	0.6243	
ベンゾイン	ケトン	C ₁₄ H ₁₂ O ₂	15.77	1.34	1.0000	0.000001	0.00023	0.00975	0.3827	
ビベンジル	芳香族炭化水素	C ₁₄ H ₁₄	13.23	1.24	1.0000	0.000031	0.00277	0.0646	1.403	
テトラデカナール	アルデヒド	C ₁₄ H ₂₈ O	14.09	1.29	0.9997	0.000012	0.00145	0.0416	1.103	
テトラデカノ酸	カルボン酸	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	17.86	1.56	0.9982	0.000000	0.00012	0.00853	0.5443	
テトラデカノン	鎖状炭化水素	C ₁₄ H ₃₀	13.72	1.37	0.9995	0.000047	0.00492	0.1293	3.148	
ヘレニン	エステル	C ₁₅ H ₂₀ O ₂	26.51	2.53	0.9999	0.000000	0.000011	0.00610	2.909	オオグルマ、土木香
カジネン	環状炭化水素	C ₁₅ H ₂₄	15.51	1.48	0.9998	0.000007	0.00129	0.0520	1.919	松、檜
グアイオール	アルコール	C ₁₅ H ₂₆ O	14.64	1.37	0.9999	0.000009	0.00137	0.0447	1.350	ユソウボク
ペンタデカノン	鎖状炭化水素	C ₁₅ H ₃₂	14.61	1.42	0.9986	0.000016	0.00232	0.0754	2.255	
1-ペンタデカノール	アルコール	C ₁₅ H ₃₂ O	16.63	1.52	0.9985	0.000002	0.00043	0.0223	1.069	
桂皮酸ベンジル	エステル	C ₁₆ H ₁₄ O ₂	20.81	1.75	0.9999	0.000000	0.000013	0.00185	0.2339	果実全般
ムスコン	ケトン	C ₁₆ H ₃₀ O	14.71	1.28	0.9998	0.000004	0.00056	0.0185	0.5659	
1-ヘキサデセン	鎖状炭化水素	C ₁₆ H ₃₂	14.64	1.38	0.9994	0.000010	0.00150	0.0492	1.483	
ヘキサデカナール	アルデヒド	C ₁₆ H ₃₂ O	15.48	1.36	0.9998	0.000002	0.00044	0.0175	0.6403	
パルミチン酸	カルボン酸	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	18.55	1.56	0.9977	0.000000	0.000046	0.00384	0.2871	
ヘキサデカノン	鎖状炭化水素	C ₁₆ H ₃₄	14.78	1.38	0.9993	0.000009	0.00135	0.0457	1.423	
1-ヘキサデカノール	アルコール	C ₁₆ H ₃₄ O	14.46	1.23	0.9999	0.000003	0.00045	0.0141	0.4086	
ヘキサデシルアミン	含窒素化合物	C ₁₆ H ₃₅ N	15.22	1.32	0.9999	0.000002	0.00040	0.0151	0.5212	

別表 種々の物質の空気中の飽和蒸気圧の外挿値 (31)

物質名	化合物分類	分子式	式 4-10 の係数		相関 係数	飽和蒸気圧外挿値				存在、用途
			ΔH	C		25°C	100°C	180°C	300°C	
ジベンジルアミン	含窒素化合物	C ₁₇ H ₁₅ N	16.08	1.47	1.0000	0.000002	0.00052	0.0240	1.011	
ヘプタデカン	鎖状炭化水素	C ₁₇ H ₃₆	15.28	1.39	0.9993	0.000004	0.00075	0.0287	1.003	
リン酸トリフェニル	エステル	C ₁₈ H ₁₅ O ₄ P	18.92	1.44	0.9996	0.000000	0.000009	0.00082	0.0666	
オレイン酸	カルボン酸	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	19.66	1.62	0.9998	0.000000	0.000019	0.00204	0.1976	
ステアリン酸	カルボン酸	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	19.17	1.55	0.9973	0.000000	0.000019	0.00180	0.1557	
オクタデカン	鎖状炭化水素	C ₁₈ H ₃₈	15.43	1.37	0.9998	0.000003	0.00049	0.0195	0.7054	
1-オクタデカノール	アルコール	C ₁₈ H ₃₈ O	17.49	1.47	0.9999	0.000000	0.000082	0.00528	0.3087	
トリフェニルメタン	芳香族炭化水素	C ₁₉ H ₁₆	34.56	3.39	0.9995	0.000000	0.000001	0.00318	9.865	
ノナデカン	鎖状炭化水素	C ₁₉ H ₄₀	16.47	1.43	0.9996	0.000001	0.00023	0.0114	0.5268	
イコサン	鎖状炭化水素	C ₂₀ H ₄₂	16.80	1.43	0.9993	0.000000	0.00014	0.00749	0.3730	