



分子の世界から紐解く香料の科学

においの特徴は、におい分子の構造から始まる

長谷川 登志夫 Toshio HASEGAWA

においのもとは、におい分子である。そのにおい分子の構造の違いをにおい分子受容体が認識することで、その分子の持つ特徴的なにおいを我々は感じている。多くのにおいは、多数のにおい成分から構成されている。それらのにおいを構成している個々のにおい成分と、受容体とは複雑な応答のしくみで、特徴的なにおいを生み出している。このとき、におい分子同士の構造の類似性が、においの特徴の発現に重要な役割を果たしている。

はじめに

においとは何か。人の五感の1つである嗅覚によって認識される感覚のことである。においを感じているとき、そこには、においのもとであるにおい分子がある。におい分子が空気中を漂って、鼻にあるにおい分子受容体にたどり着き（第1段階）、その結果生じる相互作用が脳に伝わる（第2段階）ことで、人はにおいを認識する（図1）。1つ1つのにおい分子に対して異なったにおいを人は感じ取っている。実際の香気素材のにおいは、多様なにおいの特徴を有する複数のにおい分子から構成されている。この素材の特徴的なにおいには、含有されている多くの種類のにおい分子に対する受容体の応答が関与している。そして、これらの応答から生じる信号の集積が脳に伝えられることでおいの特徴が生まれる。なお、におい分子受容体の種類は、約400である。この400種類で非常に多くの多様なにおいの違いを我々は区別している。その認識プロセスは、非常に複雑であり、まだまだわからないことが多い¹⁾。我々は、におい分子とにおい分子受容体の相互作用を、最終的には、においの特徴としてとらえ

はせがわ・としお
埼玉大学大学院理工学研究科 シニアプロフェッサー

【経歴】1981年埼玉大学理学部化学科卒業、83年東京大学大学院理学系研究科有機化学専攻修了、89年理学博士（東京大学）。95年埼玉大学理学部基礎化学科助手、同大学大学院理工学研究科助教授、准教授を経て、2023年より現職。【専門】香料有機化学、天然物化学。【趣味】テニス、自然や料理の写真を撮ること。

E-mail: toshihas@gmail.com

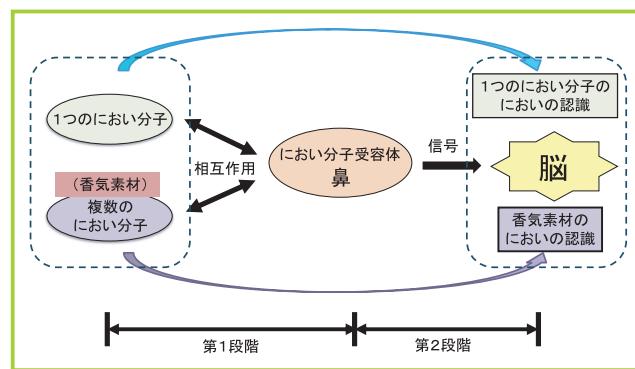


図1 におい分子とにおいの認識プロセス

ている。つまり、においの特徴は、これら2つの要素（におい分子とにおい分子受容体）の相互作用の反映である。一方、においの研究では、素材のもたらすにおいの特徴を評価することが研究を進めていく上での重要な鍵になっている。だが、残念なことに、多様なにおいを評価できる分析機器は、いまだ研究途上にある。それほど、においの受容機構は複雑である。では、においの研究で、現在最も優れたにおい評価装置は何か、それは人の嗅覚である。ご存じのように、人のにおいの感じ方には、個人差がかなりある。そのことが、においの研究を行う上での大きな問題になっている。本稿では、においをにおい分子の視点からどのように捉えることができるか解説する。

有機分子としてのにおい分子の特徴

柑橘類のすがすがしいにおいやハッカのすっとしたにおいをもたらすもととなっているにおい分子といえば、皆さんもよく知っているリモネンやメントールで

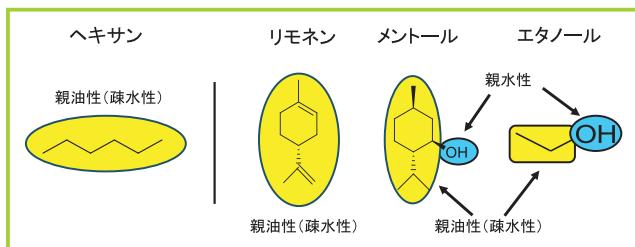


図2 代表的なにおい分子の構造と疎水性

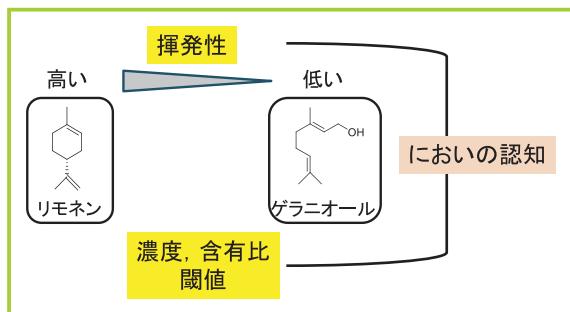


図3 においの認知に影響するにおい分子の特徴

ある。その分子構造は、図2で示したように、ヘキサンと同じく炭素原子で分子骨格が作られている。つまり、におい分子は有機分子である。多くのにおい分子は、分子骨格を形成している炭素数が10～15個であり、基本、脂溶性の分子である。つまりにおい分子は油である。もっと身近なにおい分子であるエタノールは、水によく溶けるが、これは脂溶性の分子骨格部分に対してOH基（親水性）の分子全体に占める割合が大きいためあって、炭素原子の数が増えてくると水への溶解性は下がり油の性質を示すようになる。メントールは、炭素原子10個から分子骨格が作られているため油である。もちろんリモネンも油である。柑橘類の皮をむくと含まれているリモネンを含む油分が手に付着し、べとべとした感覚になる。また、衣類や髪の毛に、においが付くのもにおい分子が油であることを示している。

におい分子は、揮発して初めて受容体に到達する。つまり、におい分子として、油の性質以上に、揮発性は重要な性質である。リモネンとゲラニオールは、ほぼ同じ分子量であるが、リモネンの方がはるかに揮発しやすい。この両分子が共存していれば、先に受容体に到達するのはリモネンである。しかし、ゲラニオールの方が多く存在していれば、事情は変わってくる。この性質に加えて、におい分子特有の性質として、においの閾値^{いきち}というものがある。においの閾値とは、人が認知できるにおい分子の最小濃度のことである。閾値は、におい分子によって異なっている。たとえ濃度が低くとも、閾値が小さい、つまり、より少ない濃度でにおいを感じることができるにおい分子の方を人が認知する可能性は高くなる。実際のにおいは、多数のにおい分子が混在しているため、においに関する特徴

(図3)は、相互に影響し合っている。個々のにおい分子の性質から実際のにおいにおける分子の挙動を推測するのは容易ではない。しかし、においの本質を捉えるには、ここで述べたにおい分子の特徴を理解することが重要である^{2,3)}。

におい分子の形がにおいの特徴を生む

におい分子は、それぞれ、特徴的なにおいを有しているが、その特徴を生み出しているのは分子の形である。分子の性質を規定する要素である官能基は、においの特徴においても重要である。ベンゼン系化合物を例に説明する(図4)。アーモンド臭を有するベンズアルデヒドのCHO基をOCH₃基に換えたアニソールは、アニス様の香気(アニスという植物の甘い特徴的なにおいに似ている香気のこと)を有する。また、OH基に置き換わったフェノールは消毒臭を示す。このように、官能基の違いが明確においの違いとなって表れている。では、これらの官能基をすべて有した化合物では、そのにおいはどうなるか。図4に示したように、そのにおいはバニラ様の甘い香りである。このにおいを有する分子は、皆さんがよく知っているバニリンである。この例からわかるように官能基だけがにおいを規定する要因ではない。分子構造の違いも関係している。そのことを図5で説明する。におい分子Aは、白檀の主要成分のにおい分子である。この分子AのOH基をCHO基に換えた分子Bのにおいは類似していた。一方、におい分子Xでは、OH基をCHO基に換えたことで、明確においの変化が生まれた。これらの結果は、2つにおい分子のにおいが類似しているということは、におい分子受容体にとってこれら分子の構

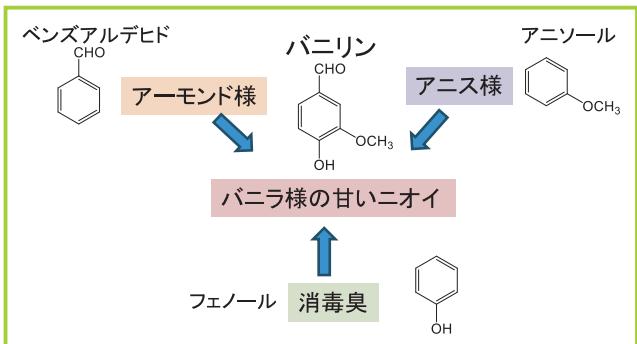


図4 におい分子の形とにおいの特徴との関連性

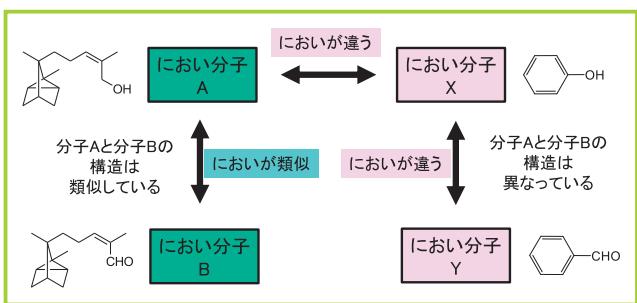


図5 におい分子構造の類似性とにおいの違い

造が類似していることを意味している。だが、分子骨格構造と官能基の変化に対するにおいの変化については、ある程度の規則性は見いだされているが、まだ研究途上である³⁾。

素材のにおい: 多数のにおい分子の集合体

におい分子とにおい分子受容体との関係についての理解は、におい特徴の発現の仕組みを解明するためには必須である。これまでの研究から、1つのにおい分子を認識するのに複数のにおい分子との応答が必要であることがわかっている。さらに、関与しているにおい分子の種類は、一定ではなく、におい分子によって異なる。例えば、1つのにおい分子の認識に6種類のにおい分子が関与しているとする。においが類似しているにおい分子が共存している場合（パターン1）と異なるにおい分子が共存している場合（パターン2）に、関与している受容体は、図6のようになっていると考えることができる。問題は、パターン1の場合である。分子の認識に同じ受容体が使われている可能性が出てくる。つまり、この場合におい分子

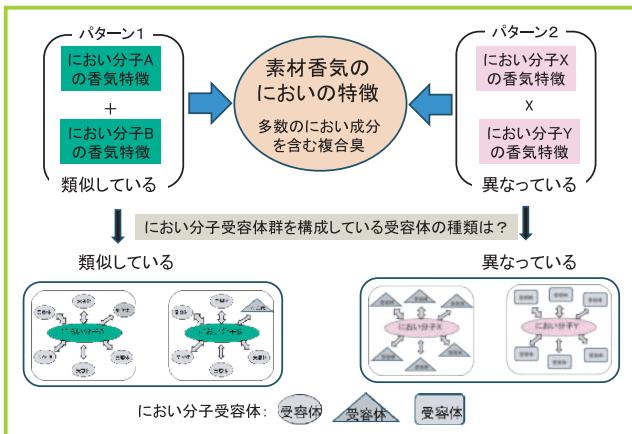


図6 複合臭のにおいの特徴とにおい分子受容体群との関係

間での受容体の奪い合いが起こり得る。実際のにおい素材では、多様なにおい特徴を有する多くのにおいの分子が共存している。そして、それらにおい分子の含有比も異なってくる。また、共存しているにおい分子の種類も微妙に異なってくることもあるだろう。このように、におい分子と受容体の複雑な関係の下で、我々は、素材の特徴的なにおいを認識しているのである。素材のにおいを解析するには、このような複雑なメカニズムを考慮しなくてはならない。その詳細については、参考文献を見ていただきたい。

今後の課題

においの研究において、においの評価は多くの研究者の悩みの種である。解決方法の1つは、においの絶対的な評価（甘い、心地よいなど）をせずに、ある対象物のにおいとの違いにだけ着目することである。筆者は、この方法であれば、訓練された評価者と一般の評価者との間での違いがないことを見つけ、研究を進めてきた³⁾。このような工夫を行うことで、においの研究がより多くの研究者にとって身近なものとなり、においの研究がより一層発展することを願っている。

1) 東原和成編, 化学受容の科学, 化学同人, 2012.

2) 長谷川登志夫, 香料化学, コロナ社, 2021.

3) 長谷川登志夫, アロマプロファイル解析による香りの科学, エヌ・ティ・エス 2021, 71, 220.