樹木精油成分による空気質の改善^{*1}大平辰朗^{*2}Improvement of Air Quality by Essential Oils
from Woody Plants^{*1}Taturo OHIRA^{*2}

Many kinds of environmental pollutants exist in our living environment, and since the diseases they cause become problematic, there is an urgent need to develop removal methods. The use of highly volatile essential oils is expected to be one such method involving emissions into the air. Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) leaf oil has been found to be an active removal compound that effectively removes ammonia, and sugi (*Cryptomeria japonica*) leaf oil has been found to be an active removal compound that effectively removes formaldehyde. Also, Todomatsu (*Abies sachalinensis*) leaf oil has been found to be an active removal compound that effectively removes nitrogen dioxide. γ -terpinene, myrcene and β -phellandrene have been found to be a kind of active removal component for nitrogen dioxide. Furthermore, they are understood to generate particulate matter of particle size 1000 nm or more as the removal mechanism. From the fact that a relaxing effect, etc. have also been found in the essential oils, improvement of overall air quality can be expected from their use.

Keywords : essential oil, purification, bad odors, environmental pollutant, nitrogen dioxide.

我々の生活環境には多種類の環境汚染物質が存在しており、それらが原因で引き起こされる疾病が問題になっている。そのためそれらの除去法の開発が急務となっている。これらの対策として樹木の香り成分（精油）を空气中に放散する方法が期待されている。精油にはアンモニア等の悪臭物質の除去活性の高いヒノキ葉油、環境汚染物質の一種であるホルムアルデヒドの除去機能の高いスギの葉油などが見出されている。最近の研究では二酸化窒素を極めて効果的に除去するトドマツ葉油等が見いだされ、それらの除去活性物質として myrcene, β -phellandrene, γ -terpinene などが特定され、さらにはその除去機構として、粒径1000 nm 以上の粒子状物質を生成し、二酸化窒素を無害化していることがわかっている。香り成分にはリラックス効果等も見出されていることから、その利用により総合的な空気質の改善が期待できる。

1. はじめに

現在の地球上には、人工的なもの、自然由来のものなど様々な化学物質が存在している。人工的に合成された物質はその特性から様々な産業の原料やエネルギー源として大量に使用されるようになり、結果として我々の生活水準の向上に大きく貢献してきた。しかしながら、それらの物質の一部には、刺激性や反応性等の高さから直接的、間接的に人の健康に悪い影響を及ぼすものがあり、社会問題化してい

^{*1} Received October 3, 2014; accepted November 10, 2014.

^{*2} 国立研究開発法人 森林総合研究所 Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba 305-8687, Japan

Corresponding author: T. Ohira (otatsu@ffpri.affrc.go.jp)

るものもある。そのため、それらの低減化策が重要となっており、これまでに高性能活性炭など優れた技術が開発されている他、環境への配慮を考慮した環境調和型の技術として、生物の物質代謝や代謝物質等の優れた浄化機能に関する研究も活発に進められている。樹木抽出成分、特に樹木精油類にはリラックス効果、抗菌・防虫性、抗酸化性などが見出されている他、最近では強力な悪臭・有害物質の浄化能を有する香り成分（精油）が見出され¹⁾、実用化されたものもある²⁾。本稿では、それらの研究を中心に最新の研究例を紹介する。

2. 生活環境の空気質汚染とその対策技術

1日の内、住宅、オフィス、移動中の車内などで過ごす時間が長い現代人にとって、室内の空気質問題は極めて重要な問題である。空気は毎日の生活にとって欠かすことのできない極めて重要なものであり、1日24時間絶え間なく呼吸をし、空気を取り込んでいる。人が24時間に呼吸として体内に取り入れている空気の量は約20 m³で、重さにすると約24 kgに相当すると言われている。一方で1日に必要とする水の量は、個人差はあるが、約2 L、重さにすると2 kgの相当する。したがって、空気は水に比べて、体積で1万倍、重さで10倍量摂取しており、空気は極めて重要な問題なのである³⁾。問題になっている有害物質には、指針値（厚生労働省が定めるもの）が定められているものもあり、その濃度は数ppm程度と極めて微量であるが、日常生活を通して暴露（経皮、吸入、経口暴露）され続けていると、物質の存在量が微量であっても、上記のように空気の摂取量全体を考慮した場合、健康影響が懸念される⁴⁾。生活活動に伴って発生する臭気には体臭、たばこ臭、生ごみ臭、調理臭、排泄物臭、建材臭など

がある他、住宅資材から放散する揮発性有機化合物（VOC）が様々な疾病を引き起こす原因になっている。室外、即ち大気環境中では、工場や自動車の排煙等が主要因である二酸化窒素などの窒素酸化物や二酸化硫黄などの硫黄酸化物などの環境汚染物質が空気質において問題になっている。これらの発生源はボイラーなどの『固定発生源』や自動車などの『移動発生源』のような燃焼過程、硝酸製造等の工程などがある。特に二酸化窒素は、燃焼過程からはほとんどが一酸化窒素として排出され、大気中で二酸化窒素に酸化され、また、生物活動に由来して自然発生もしている⁵⁾。そのため、我々の生活環境には室内外を問わず絶え間なく存在している物質でもある。二酸化窒素の健康影響については、せき・たんの有症率の増加、高濃度では急性呼吸器疾患罹患率の増加、最近では花粉症の症状との関連性などが知られている⁶⁾。これらの対策として発生源対策、即ち発生させない対策以外には、こまめな換気、消臭・脱臭剤や空気清浄機の利用などがある。一般的な消臭・脱臭剤の原理をTable 1に記したが、様々な原理による消臭・脱臭剤が開発されており、その機能も対象物質の種類に応じて選択性があるため、適材適所の消臭・脱臭剤の利用が重要となる⁷⁾。

しかしながら、現有の悪臭・有害物質の浄化法としては、高性能フィルターや活性炭等のような消臭・脱臭剤や空気清浄機など待ち受けて浄化する機構の方式が多く、限られた空間の浄化に適するなど効率の点で改善が必要であり、また製造コストや使用後の処理などでコスト高になる。そこで、より安価で浄化効率の優れた方法として香り成分による方法が提案されている。香り成分は一般的に常圧下で加温することで揮発するため、空間中に噴霧し浄化能を発揮させることができる。このような利用法に適し

Table 1. Classification of deodorant method.⁶⁾

Physico-chemical process	Combustion method	direct (thermal storage) combustion catalytic combustion
	Aqueous cleaning	aqueous cleaning liquid medicine cleaning
	Adsorption process	active charcoal impregnated charcoal zeolite, iron oxide
	Others	ozone, plasma, photocatalysis deodorization
	Solid type	soil deodorization packed tower type deodorization
	Liquid type	dispersive gas type dispersion liquid type (scrubber)
Biochemical process		

ている浄化能の高い香り成分等の抽出成分に関する研究が盛んに行われている。

3. 悪臭・有害物質に対して浄化機能を有する物質

アンモニア等の悪臭やホルムアルデヒド等の有害物質に対して特異的に除去できる香り成分を以下に紹介する。

3.1 樹木精油による悪臭物質の浄化機能

Abies alba 葉油が硫化水素を、セダーウッド油 (*Juniperus* 属の材油)、パイン油 (松の材油)、シナモン油、テレピン油、カシア油がトリエチルアミンを除去する機能が高いことが判明している⁸⁾。ヒノキ葉油、トドマツ葉油、ヒバ材油はアンモニア (60 ppm) に対して90%以上の除去率をそれぞれが示し、二酸化硫黄に対しては5%の精油濃度でも100%の除去率を示すことが知られている⁹⁾。

3.2 植物抽出物による悪臭物質の浄化機能

緑茶、ドクダミ、ラベンダー、柿の葉等のエタノール抽出物のトリエチルアミンに対する除去効果が検討され、すべてのエタノール抽出物が70~90%の除去効果をもっていることが報告されている¹⁰⁾。緑茶の除去活性は中和、付加などの他に、ポリフェノールの反応性、即ちフェノール基を有する化合物は多くの錯体化合物を生成する特性があるため、硫化水素、アミン類などと結合しやすく、ポリフェノールの3次元構造の内部に悪臭分子が取り込まれると考えられている。またスパイス、ハーブのメタノール抽出物のメチルメルカプタンに対する除去効果が検討され、セージやローズマリーの成分であるアルノソールやスオウの成分であるブラジリン、紫根の成分であるシコニンなどのフェノール性成分が優れた除去効果があることが報告されている¹¹⁾。樹木の樹皮に多い縮合型タンニンでは蛋白質吸着作用、重金属吸着作用及び悪臭・有害物質除去作用が見出されている。アンモニア、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドの除去作用については、アンモニアに対してはアカシアタンニンが最も効果的であり、ホルムアルデヒドに対してはカテキンやカラマツタンニンが顕著な除去活性を有することが判明している¹²⁾。

3.3 樹木精油によるホルムアルデヒドの浄化機能

シックハウス症候群の原因物質の一種にホルムアルデヒドがあるが、その除去対策として様々な方法が開発されている。植物成分としてはタンニン、フラボノイド等が見いだされている。Fig. 1は11種類の樹木由来の葉及び材の香り物質 (精油) 及び代

Fig. 1. Removal activities of Formaldehyde by woody essential oil.

*: Removal rate (%) = [Concentration after contact with essential oil]/Concentration × 100

表的なそれらの構成物質によるホルムアルデヒドの除去活性を示したものである。葉の精油と材の精油を比較すると、葉の精油の方が材の精油より除去活性が高い傾向にある。供試した精油の中ではスギ葉油、モミ葉油、トドマツ葉油、ヒノキ葉油の除去率は60%を超えており、特にスギ葉油は供試試料中で最も除去活性が高い¹³⁾。精油類による物質の除去機能については、不明な点が多いが、マスキング効果の他、精油成分との化学的な反応による捕集効果等が考えられている¹⁴⁾。

4. 樹木精油による二酸化窒素の浄化機能

大気汚染物質の一種であり、有害性が危惧される二酸化窒素の低減化策としては高性能な吸着剤、光触媒技術、アンモニア等による接触還元技術、オゾン水利用技術などが開発されている¹⁵⁻²⁰⁾。しかしながら、これらの技術は処理コストが高いこと、浄化範囲に限界があるなど問題点も指摘されている。そのため、より効率的な方法の開発が待たれている。植物には環境に適応するための能力、例えば二酸化窒素、揮発性有機化合物、ホルムアルデヒド等を生きた植物が代謝の過程で浄化する能力があることが知られている²¹⁻²⁴⁾。ここでは、最近研究が進んでいる樹木の代謝物質の一種である精油類による浄化能について紹介する。

4.1 樹木精油の二酸化窒素浄化機能

所定量の香り成分による二酸化窒素 (7 ppm) の除去活性を調べた結果を Fig. 2 に示した。いずれも系内の二酸化窒素濃度が低下していたが、混合後30分でトドマツ (*Abies sachalinensis*) 葉油による除去率が86%と最も高い値を示し、次いでヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) 葉油、ユーカリ (*Eucalyptus*

globulus) 葉油, スギ (*Cryptomeria japonica*) 葉油の順であった。同じ樹種における葉油と材油については, 葉油の方が高い傾向にあった。浄化能の高かったトドマツ葉油に含まれる活性物質を調べたところ, myrcene, Ocimene, 1, 4-cineol, γ -terpinene, terpinolene, β -phellandrene などのモノテルペン類が見出された (Fig. 3)。これらの物質は, 1, 4-cineol を除いて2重結合を分子内に2個以上有するという化学的な特徴があった (Fig. 4)²⁵⁾。二酸化窒素の浄化能の高いテルペン類の捕捉・除去機構としては, ①ニトロ化あるいはニトロソ化された新規生

Fig. 2. Removal activities of nitrogen dioxide by woody essential oils.

Nitrogen dioxide: 7 ppm

*: Removal rate (%) = [Concentration after contact with essential oil] / Concentration × 100

Fig. 3. Removal activities of nitrogen dioxide by woody essential oil components having a high removal activity.

Nitrogen dioxide: 7 ppm

*: Removal rate (%) = [Concentration after contact with terpenes] / Concentration × 100

成物の生成, ②二酸化窒素が精油成分により酸化あるいは還元され, 硝酸, 亜硝酸, 一酸化窒素の生成などが考えられるが²⁴⁾, 新規生成物, 硝酸, 亜硝酸の生成は確認されず, 一酸化窒素の濃度変化はほとんどなかった。テルペン類の大気化学的な反応性に関する研究例²⁶⁾を参考にして, 反応後の系内の空気質について調べたところ, モノテルペン類は二酸化窒素との反応により, 速やかに粒子状物質 (PM: Particle Materials, エアロゾル: aerosol と呼ぶ) を生成していることが確認された^{27, 28)}。走査型プローブ顕微鏡による観察によりその形状は複雑であるが, 概ね球状を呈していた (Fig. 5)²⁸⁾。大気環境において観察された粒子は基になる物質の種類も多数あるため, その形状も球状以外に繊維状, 角張った状態のものなどが観察されている²⁹⁾。

粒子状物質の生成挙動は, 二酸化窒素の除去率の高い物質ほど生成する粒子状物質の平均粒径が大きく, かつ粒子検出開始時間が概ね0.1分と極めて速かった。また, 有機粒子や含窒素粒子の質量濃度の比 (有機粒子/含窒素粒子) は16.8~20.0であり, 除去率が高い物質ほど大きい傾向にあることが判明した (Table 2)。このことから除去率の高い物質は二酸化窒素と接触後, 極めて速やかに粒子状物質を生成し, それらの粒径は急速に拡大し, 生成する粒子状物質の組成も有機粒子の割合が多い状態になりやすいことがわかっている^{27, 28)}。生成した粒子状物質の化学組成についてはほとんどが未解明であるが, 近年ソフトイオン化質量分析法などが開発されて

Fig. 4. Terpenes having a high removal activity of nitrogen dioxide.

Fig. 5. A scanning microscope photomicrograph of particle materials from the reaction γ -terpinene and nitrogen dioxide.

Table 2. Properties of particles produced by the reaction with terpene and nitrogen dioxide.

	Nitrogen dioxide removal rate (%) [*]	Average particle size (nm)	(Organic particle/Nitrogen containing particle) ratio ^{**}
1, 4-Cineol	95	2210	17.4
Myrcene	90	1750	19.0
Ocimene	90	2750	19.7
γ -Terpinene	85	2050	16.8
β -Caryophyllene	20	508	13.1
β -Pinene	10	500	11.7
1, 8-Cineol	5	860	13.5
Isoprene	5	707	6.7

*: Removal rate (%) = [Concentration after contact with terpenes]/Concentration $\times$ 100

**: [Weight concentration of organic particle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)]/[Weight concentration of nitrogen containing particle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)]

きており、徐々にではあるがその正体が明らかにされてきている^{30, 31)}。大気中に浮遊しているエアロゾル粒子は、人体等への健康影響、地球の温暖化への関与、大気環境への影響等が懸念されており、粒子の化学組成等の詳細な解明が急務となっていることから³²⁾、この分野の研究は急速に進むと思われる。この他、樹木の樹脂成分による二酸化窒素浄化能に関する研究も行われており、abietdieneなどのジテルペン炭化水素が優れた浄化能力を有することが判明している³³⁾。

5. さいごに

我々の周辺にある空気は、様々な原因で汚染されている。汚染物質を生成させない努力とともに生成してしまった汚染物質の浄化技術の開発は今後も重要となるだろう。植物は人間が地球上に出現するはるか以前より生息してきた。そのため過酷な環境に適応するための能力を身につけていると考えられている。それを証明するかのように優れた浄化機能を有する植物や植物成分が続々と見いだされてきている。植物の知恵ともいえる代謝機能や浄化活性物質に関する研究はまだ始まったばかりであり、今後も効果的な香り成分が見出されることを期待する。香り成分は、前述したようにリラックス効果など我々の生活に役立つ機能も合わせ持っている。したがって、効果の認められた香り成分を利用することで空間中の悪臭・有害物質の低減化が達成され、それと同時にリラックス性など生活上役立つ効果も期待でき、樹木精油類の利用により総合的な空気質の改善が可能になるだろう。

文 献

- 1) 谷田貝光克：森の香り・木の香り その正体

と働き、におい・かおり環境学会誌 38(6), 428-434 (2007)。

- 2) 農林水産省：トドマツの枝葉から生まれたユニークな“空気浄化剤”が登場。aff 45(2), 22 (2014)。
- 3) 池田耕一：室内空気質の改善と快適空間の作り方。“室内空気質の改善技術”，NTS, 東京, 2010, pp. 3-5。
- 4) 小若順一，松原雄一：『暮らしの安全白書』，学陽書房，東京，1992，p. 1。
- 5) 佐島群巳，横川洋子：生活環境の科学。“環境保全への参加行動”，学文社，東京，2006，pp. 1-162。
- 6) Wang, Q., Morita, J., Gong, X., Nakamura, S., Suzuki, M., Senlin, L., Sekiguchi, K., Nakajima, T., Nakajima, D., Miwa, M.: Characterization of physical form of allergenic Cryj1 in the urban atmosphere and determination of Cryj1 denaturation by air pollutants. *Asian J. Atmos. Environ.* 6(1), 33-40 (2012)。
- 7) 中津山憲：消・脱臭システムの最適化。第27回におい・かおり環境学会講演要旨集，東京，2014，pp. 22-24。
- 8) 西田耕之助：消臭・脱臭について。香料 168, 65-87 (1990)。
- 9) 谷田貝光克，大平辰朗：針葉抽出成分の用途開発。バイオマス変換計画研究報告 24, 36-71 (1990)。
- 10) 河内二郎，宮本幸輝：植物抽出物による消臭作用。フレグランスジャーナル 65, 82-85 (1984)。
- 11) 常田文彦：植物抽出物の消臭作用と効果。フレグランスジャーナル 72, 59-63 (1985)。
- 12) 大原誠資：タンニンの機能。“樹皮タンニンの

- 多彩な機能と有効利用”, 八十一出版, 東京, 2005, pp. 25-34.
- 13) 大平辰朗, 谷田貝光克: ホルムアルデヒド類の捕集方法及び捕収装置. 特許3498133号 (2003).
- 14) 井本 稔, 垣内 弘, 黄 慶雲: 炭化水素との反応. “ホルムアルデヒド”, 朝倉書店, 東京, 1965, pp. 102-127.
- 15) 福寿 厚, 小林秀次, 市来正義, 秋山正樹: 二酸化窒素除去用触媒および二酸化窒素除去方法. 特願平 8-274448 (1996).
- 16) 梶間智明, 鈴木良延: アルカリ添着活性炭による空気中の二酸化窒素の除去. 日本建築学会計画系論文集 No. 539, 51-58 (2001).
- 17) 飯島勝之, 山下岳史, 藤澤彰利, 松本充史: 二酸化窒素除去剤. 特開2007-38076 (2007).
- 18) 高安輝樹, 新井照男, 小野田金児: 光触媒材料による分解除去方法. 特開2012-11372 (2012).
- 19) 環境省ホームページ: 窒素酸化物削減に関する技術リスト, <https://www.env.go.jp/air/tech/ine/asia/china/files/needs/china-technology-list-jp.pdf> 2014年10月2日参照.
- 20) 藤田富雄, 長尾 仁, 山内四郎, 安田昌弘, 浅野秀昭: NO_x を含有する被処理ガスの脱硝方法. 特願2011-137278 (2011).
- 21) 高橋美佐: 大気環境浄化における植物の可能性. におい・かおり環境学会誌 42(1), 2-7 (2011).
- 22) 保田仁資: 大気の汚染 “やさしい環境科学”, 化学同人, 東京, 1996, pp. 64-65.
- 23) 小川和雄, 高野利一: 植物群落の大気浄化効果に関する研究. 埼玉県公害センター年報 No. 12, 45-51 (1985).
- 24) 辻野善夫: スギ材による空気質の改善. におい・かおり環境学会誌 42(1), 8-16 (2011).
- 25) 大平辰朗: 樹木精油による環境汚染物質の除去. *AROMA RESEARCH* 13(4), 308-312 (2012).
- 26) Lee, A., Golstein, A. H., Keywood, M. D., Gao, S., Varutbangkul, V., Bahreini, R., Ng, N. L., Flagan R. C., Seinfeld, J. H.: Gas-phase products and secondary aerosol yields from the ozonolysis of ten different terpenes. *J. Geophys. Res.* 111(D07302), 1-18 (2006).
- 27) 大平辰朗, 松井直之, 金子俊彦, 田中雄一: 香り成分による二酸化窒素の捕集・除去機構 1 生成する粒子状物質の特性について. 第25回におい・かおり環境学会講演要旨集, 草津, 2012, pp. 111-112.
- 28) 大平辰朗, 松井直之, 金子俊彦, 田中雄一: 香り成分による二酸化窒素の捕集・除去機構 2 生成する粒子状物質の観察と生成挙動. 第26回におい・かおり環境学会講演要旨集, 東京, 2013, pp. 104-106.
- 29) 岩崎みすず, 八木俊介, 田結庄良昭: 2003年4月と9月に神戸市で採取した浮遊粒子状物質の個別粒子分析. 大気環境学会誌 42(3), 200-207 (2007).
- 30) 秋山賢一, 下野彰夫, Worsnop, D.: 高分解能ソフトイオン化エアロゾル質量分析計の開発. 自動車研究 27(6), 239-242 (2005).
- 31) 三好猛雄, 高見昭憲, 下野彰夫, 畠山史郎: エアロゾル質量分析計により沖縄県辺戸岬において観測されたエアロゾル化学組成の特徴. 大気環境学会誌 48(1), 1-11 (2013).
- 32) 高見昭憲, 大原利眞, 佐藤 圭, 森野 悠, 加藤吉康, 平野靖史郎, 古山昭子, 藤谷雄二, 今村隆史, 田邊 潔, 伏見暁洋, 瀬田孝将, 磯崎 輔, 新田裕史, 伊藤智彦, 松橋啓介, 小林伸治, 米澤健一: 二次生成有機エアロゾルの環境動態と毒性に関する研究. 国立環境研究所研究プロジェクト報告 SR-101-2012, 2012, pp. 1-79.
- 33) 大平辰朗, 松井直之, 小藤田久義, 後藤まなみ, 辻村舞子: スギ材乾燥廃液を利用した環境浄化剤の開発(1). 第64回日本木材学会大会研究発表要旨, 松山, 2014, M13-P-23 (CD-ROM).