



トマトの枝葉を利用した空気浄化剤の開発

(国立研究開発法人森林総合研究所) 大平 辰朗

空気は私たちの生活に欠かせない重要なものである。しかしながら、排気ガスなどに微量ながら含まれる二酸化窒素などの環境汚染物質は、さまざまな疾病の要因になることがわかっており、効果的な除去法の開発が急務となっていた。そこで、森林内の空気が周辺道路の空気に比べて浄化されていることに注目し、その要因の一つと考えられている樹木の精油成分に着目した。詳細な研究の結果、トマト葉部に含まれる精油成分（香り成分）が二酸化窒素の浄化能力に優れていること、および、その活性物質として数種のテルペン類を発見した。トマト葉油には、二酸化窒素浄化能の他に、悪臭成分の消臭効果、ストレス低減効果やアレルギー活性低減効果も見いだされたことから、生活環境の改善に役立つ総合的な空気質改善剤として実用化を図ることにした。そのためには精油成分の大量生産システムの開発が必要であった。種々の検討の結果、我々は企業と共同で革新的な空気質改善剤を商品化することに成功した。本稿はその開発ストーリーを紙面の許す限り紹介したものである。

二酸化窒素対策の必要性とその問題点

二酸化窒素は環境汚染物質の代表的な物質である。発生過程はボイラーなどの『固定発生源』や自動車などの『移動発生源』での燃焼過程、硝酸製造などの工程などがある。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る。地球規模で見ると、二酸化窒素のほとんどが生物活動から発生しているといわれている¹⁾。人への健康影響については、二酸化窒素濃度とせき・たんの有症率との関連や、高濃度における急性呼吸器疾患の罹患率の増加などが知られており、低減策の開発は重要な課題となっている²⁾。これまでに研究された方法としては光触媒、活性炭素などを用いるものがあったが、これらの技術は、対象物質を待ち受けて除去する受動的な機構であるがゆえに反応速度、除去効率などの点で問題があり、また高コストであった。

二酸化窒素浄化作用の優れた精油とその活性物質の発見

我々は効果的かつ低コストな技術として、森林のもの

つ空気浄化力に注目した。その複雑な機構は完全に解明されてはいないが、その要因の一つに樹木の放散する香り成分（精油成分）が考えられている。樹木精油の中には、アンモニア、硫化水素などの悪臭物質や室内環境の汚染物質であるホルムアルデヒドを効率的に浄化するのがすでに見いだされていた。二酸化窒素浄化能の高い精油を検索したところ、効果の高い順番にトマト葉油、ヒノキ葉油、ユーカリ葉油、スギ葉油が見いだされた。図1は、気化状態の精油成分を用いた時の浄化作用を示しており、二酸化窒素と混合後30分でトマト葉油は除去率86%と高い値を示した。この性能は既存の技術である活性炭や光触媒技術と比べて同等かそれ以上であった。トマト葉油は約40種のモノテルペン類で構成されており、それらの中で二酸化窒素浄化作用の高い物質を検索したところ、 γ -テルピネン、 β -フェランドレン、ミルセンが見いだされた。これらの気化状態の浄化能は、二酸化窒素と混合後30分で85%を超える除去活

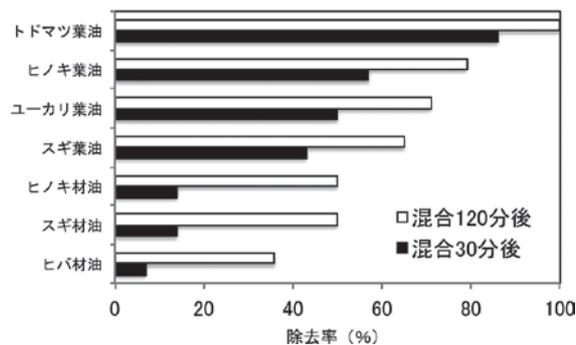


図1. 各種樹木精油の二酸化窒素除去率
二酸化窒素濃度：7 ppm
除去率 (%) = [(ブランク濃度 - 精油成分接触の濃度) / (ブランク濃度)] × 100

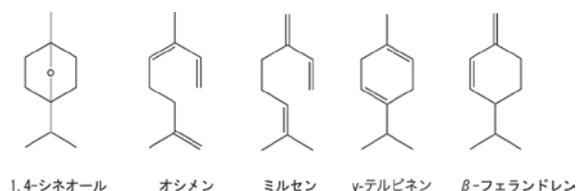


図2. 二酸化窒素除去率の高かったテルペン類



性を示し、120分経過後では100%に達していた。見いだされた物質の化学的特徴は、二重結合を分子内に二個以上有することであった(図2)³⁾。

トマト葉油の低コスト大量抽出法の開発

一般的に樹木の精油成分の含有量は多くても数% (対乾燥重量割合) である。そのため、精油を活用した空気質改善剤を実用化するためには、精油の製造コストを低減することが重要であった。そこで第一に、低コスト大量抽出法を開発した。精油成分の抽出法だが、現状の方法としては水蒸気蒸留法 (SD法) が用いられていた。この方法は原理が簡単で、比較的装置が安価であることから広く普及しているが、抽出時間が長時間に及ぶこと、100°C近い水蒸気との接触により精油に含まれる芳香成分が変質を受けやすいこと、精油採取後に廃液が大量に排出されること、高含水率の抽出残渣が排出することなどの問題点があり、環境配慮型の効率的な新規抽出法が開発が求められていた。そのような背景からまったく新規な抽出原理による方法“減圧調整式マイクロ波水蒸気蒸留法 (vacuume microwave assisted steam distillation (VMSD))”を開発した⁴⁾。

減圧調整式マイクロ波水蒸気蒸留法の特徴と抽出例⁵⁾

開発した装置の概略を図3に、実用機の写真を図4に示す。装置の主な構成は抽出槽 (1350 L)、マイクロ波発振装置、真空ポンプ、冷却装置であり、減圧度などの抽出条件は試料に応じて調節可能な機構を有している。表1は減圧調整式マイクロ波水蒸気蒸留法と一般的な水蒸気蒸留法との比較をまとめたものである。本法は①廃液が少なく、残渣の直接利用が可能であるなど環境配慮型であること、②エネルギーコストが低く、省エネルギー型であること、③減圧条件の調整が自由のできるの、

目的とする成分を選択的に抽出すると同時に分画でき効率的であることの利点があるため、企業化に適した魅力的な方法である。

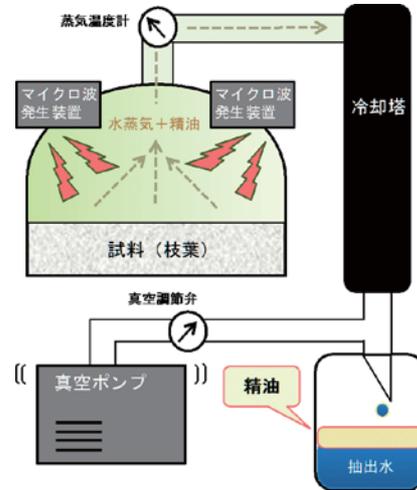


図3. 減圧調整式マイクロ波水蒸気蒸留装置の概略



図4. 減圧調整式マイクロ波水蒸気蒸留装置の写真

表1. 水蒸気蒸留法と減圧調整式マイクロ波水蒸気蒸留法との比較

	水蒸気蒸留法 (SD)	減圧調整式マイクロ波水蒸気蒸留法 (VMSD)
抽出時間	長い ◎4~8時間	短い ◎0.4~2時間 省エネルギー
抽出物の組成	抽出選択性 無 ◎大気圧、100°C固定 加熱による変質大 別途蒸留等の分画必要	抽出選択性 有 ◎圧力 (0.8~0.2気圧)、温度 (40°C~100°C) 可変 低温抽出可能 (変質小) 抽出と同時に分画可 (目的物質の選択的抽出可)
抽出廃液	多い ◎植物体の水分+水蒸気 別途処理が必要	少ない ◎植物体中の水分のみ 環境配慮型 植物体の水分 (天然物100%)
抽出残渣	高含水率 (70%以上) 利用するには乾燥が必要	低含水率 (30%以下) (抽出時間に依存) 直接利用可能



VMSD法を用いたトドマツ葉から得られた精油成分は、通常の水蒸気蒸留法を用いた場合と比べて、揮発性が高いモノテルペン類が多い組成であることが特徴であった。またVMSD抽出残渣には揮発性が中程度のモノテルペン類が含まれており、抽出工程において抽出と分画が同時に行われたと考えることができた。

精油とともに得られた抽出水は、精油の約25倍得られる。含有物質として *cis*-3-hexen-1-ol, borneol, bornyl acetate, maltol, 1-hexanolが検出された。含有物質として共通していることとしては、アルコール系化合物(OH基を有する物質)の割合が多いこと(トドマツの場合、抽出水に含まれる有機物中に占めるアルコール系化合物の割合は94.8%)であった。組成はほとんどが水(有機物の割合:0.01–0.03%)であるが、微香を有しており、また最近の研究で強い抗菌性や抗ウイルス作用が見いだされており、消毒剤などとして有望であった。

抽出残渣の含水率は20～30%の間であった。一般的な水蒸気蒸留法の場合、抽出残渣は水分を大量に含んだ状態であり、残渣を利用する場合、抽出後に水分の除去が必要であった。一方、VMSD法の場合、抽出後の残渣はそのままでもペレットなどの製造には適した状態にあると考えられる。参考までに発熱量を測定してみるとトドマツ葉VMSD抽出残渣は4,754 kcal/kgとなり、一般的な木質ペレットよりも約1.2倍高く、燃料素材として有望であった。また、最近の研究により抽出残渣には高い悪臭・有害物質の除去機能があることが判明しており、環境に優しい消臭素材として注目される。以上のように、VMSD法を活用することにより、精油、抽出水、抽出残渣としてそれぞれカスケード的に利用が可能となる。

実用的規模での大量抽出

現在、企業と共同で北海道釧路にて実用的規模で精油の大量抽出を行っている。精油含量が多いトドマツ葉(約500 kg)から精油4 L、微香を有する抽出水100 L、低含水率の抽出残渣約390 kgをわずか100分で採取することが可能となっている。精油採取に要する消費エネルギーを比較すると、一般的な水蒸気蒸留法の1/20程度であり、製造コストの低減化が大幅に達成できている。

未利用資源の有効利用による森林ニュービジネスへ

事業化にとって重要なことは、一定量の抽出原料を安定的かつ持続的に確保することである。そこで木材の伐採時に大量に排出される枝葉に注目した。トドマツ枝葉は現在のところ用途がないまま林地残材として放置されることが多く、安定して持続的に必要量を得られることが判明した。また、製造コストを低減するために、効率的な枝葉の収集・運搬システムの確立も重要であり、現

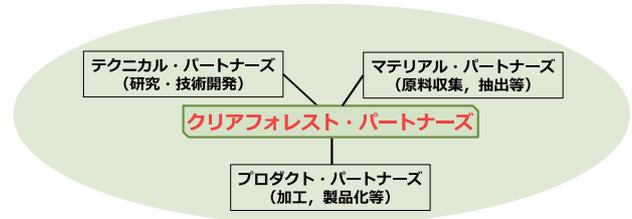


図5. クリアフォレスト・パートナーズの概略

地の企業と協力して効率的な方法を考案した。

事業を円滑に進めるために、原料収集、抽出、加工、製品化、精油が持つ機能解明も含めた研究開発をそれぞれ相補的に分担して連携する「クリアフォレスト・パートナーズ事業体」(コンソーシアム)(図5)を2011年から立ち上げた。業種が異なる複数の企業や自治体、大学、公設試験場などを核とする連携体制をとることにより、それぞれの業種における得意分野を活かすことができ、コストパフォーマンスが高い事業運営が可能となっている。この取組みはまだ始まったばかりだが、その可能性の大きさから地元自治体を中心に「森林ニュービジネスモデル」として期待が高まっている⁶⁾。

問題点と今後の展望

未利用資源“枝葉”を活用した空気浄化剤の事業化は始まったばかりである。植物の葉などは天然物ゆえの安全性の高さなどの利点もあるが、それらを利用した事業を継続するためには得られる精油の品質の均一化や抽出原料となる枝葉の安定的な供給などの点で課題も多い。また、製造コストを総合的に低減するためには、精油成分以外に抽出水や抽出残渣の利用も視野に入れる必要がある。また、現在はトドマツ枝葉を原料にしているが、国内にはスギやヒノキなどの樹種も多く存在している。残念ながらこれらの樹種の利用法はまだ確立していない。それらの資源量を考慮すると、十分ビジネス展開も夢ではないために、早急な利用法の開発が必要であろう。日本は世界有数の森林率を誇る森林国である。身近な資源であるからこそ、その価値を再度見直すことで新しい発見が生まれるかもしれない。今後の進展が楽しみである。

文 献

- 1) 佐島群巳, 横川洋子:生活環境の科学, p. 1, 学文社(2006).
- 2) Wang, Q. et al.: *Asian J. Atmos. Environ.*, **6**, 33 (2012).
- 3) 大平辰朗:木材学会誌, **61**, 226 (2015).
- 4) E. P. 2402423, 「Method for producing monoterpene component-rich essential oil」(2014).
- 5) 大平辰朗: *AROMA RESEARCH*, **11**, 148 (2010).
- 6) 大平辰朗:山林, **1569**, 23 (2015).