

熱帯林バイオマスの成分利用

—メラルーカ及びユーカリの精油成分の特性とその利用可能性—

谷田貝 光 克

1. はじめに

熱帯林における枝葉などの林地残材、製材・加工段階で生じるオガ粉、端材、樹皮などの林産廃棄物は、貴重なバイオマス資源であるにも関わらず、その多くが未利用のまま放棄されているのが現状である。そこで、用材生産に伴い廃棄される枝葉の有効利用技術の開発の一環として、インドネシアなどの東南アジアに生育する早生樹種メラルーカ、ユーカリの葉の成分特性についての調査を行った。ここでは明らかにされたその結果についてご紹介する。

林野庁の国際林業協力事業に関連する補助事業として、平成11年から15年まで(財)国際緑化推進センターによって「熱帯林放棄バイオマス再資源化支援事業」が行われた。未利用のまま放棄されている熱帯林バイオマスの有効利用を図ることを目的とした上記事業では、製炭法の改善、木酢液の利用、ブリケット炭の製造、木炭・木酢液入り堆肥の製造、オガ粉のキノコ培地としての利用、セメントボードの製造、抽出成分の利用等についての検討が行われた。ここでご紹介する精油成分に関する内容の多くはその事業の中での成果である¹⁾。

2. メラルーカとガラム—精油成分からの考察—

ユーカリと同じフトモモ科に属するメラルーカ (*Melaleuca*) 属はオーストラリア原産で、250種以上が存在する。なかでもカユプテ (*M. cajuputi*) のように有効成分である1,8-シネオール含量が高く、カユプテ油の名でユーカリ油

Mitsuyoshi Yatagai : Utilization of Components of Biomass from Tropical Forest—Chemical Characteristics of *Melaleuca* and *Eucalyptus* Essential Oils and Their Possibility for Utilization

(独)東京大学大学院農学生命科学研究科

と同様に香料原料、殺虫剤、医薬用などとして利用されているものもある。カユプテは一般に比較的陸生で山地に生育する。これに対して同じメラルーカ属の樹種で、湿地に生育しインドネシア地方ではガラム（Gelam）と呼ばれる樹種がある。ガラムの学名は *Melaleuca leucadendron* とされているが、文献によっては *M. leucadendron* または *M. cajuputi* があげられることがあり、混乱を招くことがある。カユプテが有効な精油資源として利用されているのに対して、ガラムは精油含量が低いという評価を受けているために精油採取は行われていない。ガラムはインドネシア、マレーシア、ベトナム、タイなど熱帯の湿地帯に生育し、群落を形成する。特にインドネシアではスマトラ島の東岸域の広大な低地の湿地帯に群生し、ベトナムメコンデルタでは広大な低湿地域に植林が行われている。ガラムの材は燃料として使用されるほか、建築用足場丸太、家屋・小屋や塀などの柱用、坑木、炭材用として用いられているが、葉の利用はなされていない。早生ではあるが、幹は幾層もの薄い樹皮で覆われ、材はねじれもあるので本格的な建築用の用材としては不向きで、確固たる付加価値の高い有効利用がなされていないのが現状である。そこでまずガラムが分類学的にカユプテとどのような関係にあるのかを化学成分的に考察し、さらに有効利用の観点から、用材利用のときに廃棄される葉から精油を採取し、精油含量、成分の検討を行い、さらに成分の生物活性を検討した。インドネシア、マレーシアで採取された3種のガラム、6種のカユプテの葉の精油含量は、乾燥葉 100 g あたり、カユプテが 3.5 ml～9.5 ml、ガラムが 1.5 ml～4.00 ml であった。スギ、ヒノキなどの葉油含量が乾燥葉 100 g 当り 2～4 ml/程度であり、これらの精油がわが国において市場に出回っていることを考えると、ガラムはカユプテに比べて精油含量が低いものの、なかには精油採取にかなう品種もあるといえ



写真 1 アレロパシーで下草の生えにくいメラルーカ

る。特に野生のものに精油含量の高いものが存在することから、これらの選抜・育種により、精油採取に叶う精油高含有品種を作り出せる可能性も高い。

カユプテ油の品質は 1, 8-シネオールの内容量を基準に決められており、インドネシアでは 55 % 以上の含量のものを prime

quality, 55% 以下のものを standard として区分し, 前者に後者よりも高い価格が設定されている。その理由は 1,8-シネオールが抗菌作用や殺虫作用などの生物活性を有しているからである。

インドネシアジャワ島にある国営のカユプテ採取工場では, カユプテを植林し, 定期的に刈り取った葉からカユプテ油を採取しているが, ここで得られるカユプテ油は 1,8-シネオール含量 69% という高含量である。今回成分を精査した 6 種のカユプテのうち, 1,8-シネオール高含有品種の選抜や植栽地での栽培, 育種を受けている 2 種は高含量であるが, 自然に生育していた 4 種のうちの 2 種は 1,8-シネオール含量が 55% 以下のもので, 他の 2 種には 1,8-シネオールが含まれておらず, 精油の成分組成も他のカユプテとは大きく異なっていた。したがって, カユプテには 1,8-シネオールを含むものと含まないものと 2 つのケモタイプが存在することが明らかになった。1,8-シネオールを含まないカユプテ種では, 含んでいる種に比べて抗菌性, 殺蟻性などの生物活性を有することで知られている α -テルピネオール含有率が高いので, 1,8-シネオールを含んではいないものも利用可能性は高い。

現地でガラムと称している 3 種の精油は 1,8-シネオールをわずかに含んでいるか (1.9%), あるいはまったく含んでいない。さらに成分組成はカユプテ種とは大きく異なる。このことから現地では混同されることもしばしばあるが, ガラムは分類学上, カユプテとは別種であり, *M. leucadendron* として独自の種として位置づけるのが妥当であると思われる。ガラムは同じメルルーカ属の *Melaleuca dealbata* や *M. bracteata* の精油に多く含まれ, 強い殺ダニ作用を有する高沸点化合物フェニルプロパノイド類を多く含んでいることが特徴である。調べた 3 種のガラムの中ではセスキテルペンであるエレメンを 30% 近く含んでいるものが 1 種あるのに対して, 他の 2 種はまったく含んでいない。したがって, ガラムの中でもさらに異なったケモタイプの存在が予想される。

3. カユプテ, ガラム精油の殺蟻活性²⁾

カユプテ及びガラム精油のヤマトシロアリに対する作用をみると, 10 倍希釈ではいずれも一日後にシロアリを全滅させる強い殺蟻活性を示した。100 倍希釈ではカユプテ精油では生存するシロアリが多いのに対して, ガラム精油では全滅させるほどの強い殺蟻活性を示した (図 1)。このことからガラム精油はカユプテ精油よりも強い殺蟻活性を示すことが明らかになった。ガラム精油がカ

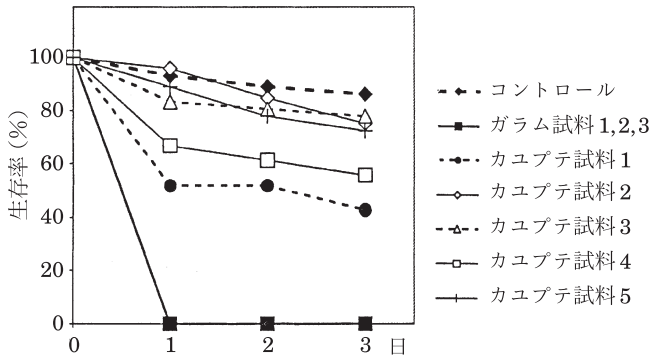


図 1 カユプテ精油 100 倍希釈液での殺蟻活性
ヤマトシロアリを用いた精油との接触試験

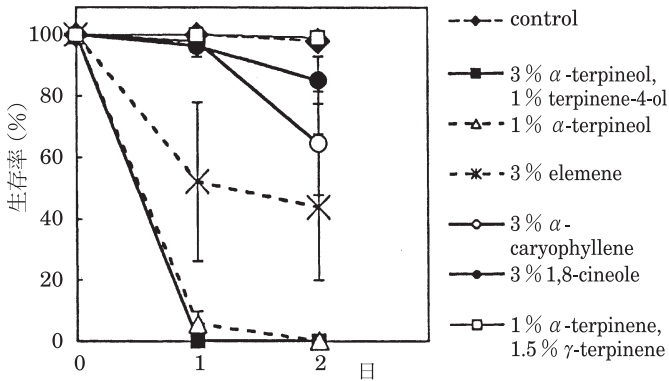


図 2 メラルーカ精油主要成分の殺蟻活性

ユプテに比べて強い殺蟻活性を示すのは、ガラム精油に特徴的に含まれるフェノール性成分によることが予想される。

次いで、カユプテ、ガラム精油の主要成分を用いて殺蟻試験を行うと、 α -テルピネオール、テルピネン-4-オールが強い殺蟻活性を示した (図 2)。カユプテは α -テルピネオールを多く含むものが多いので、カユプテの殺蟻活性発現の一つとして α -テルピネオールが考えられる。

また、カユプテ及びガラムの精油のヤマトシロアリに対する忌避作用を調べると、それほどの強さではないものの双方に忌避作用が観察され、さらにその

活性はガラムのほうがカユプテよりも高かった。

4. ガラム精油の利用可能性の展望

上述のように、インドネシア、マレーシア、ベトナムメコンデルタなどの湿地帯に生育するガラムは精油成分の検討の結果、明らかにカユプテとは種を異にしていること、カユプテには1,8-シネオールを多量に含むものとそうでないものの2つのケモタイプが存在すること、ガラムの場合にもその成分組成からさらに細分化の可能性があることがわかる。ガラムの精油含量もカユプテのそれよりは多少劣るものの大幅に遜色するものではなく、精油採取に十分に見合う精油含量を有する種も存在することが今回の調査で明らかにされた。

カユプテ及びユーカリ油の品質の決定には前述のように害虫忌避、殺虫などの活性成分1,8-シネオール含量が参考にされている。しかしながら殺蟻作用に関しては1,8-シネオールには低い活性があるのみである。ガラムは1,8-シネオール含量は低いものの、殺蟻作用に関してはカユプテよりも活性が高く、この活性はフェノール性化合物を多く含むことに起因している。このことは必ずしも1,8-シネオールを精油の品質評価に用いる必然性もなく、それ以外の有効成分の利用とそれらの今までに知られていなかった新しい生物活性を見出すことが、ガラムの有効利用につながることを示している。

5. メラルーカ類のアレロパシー

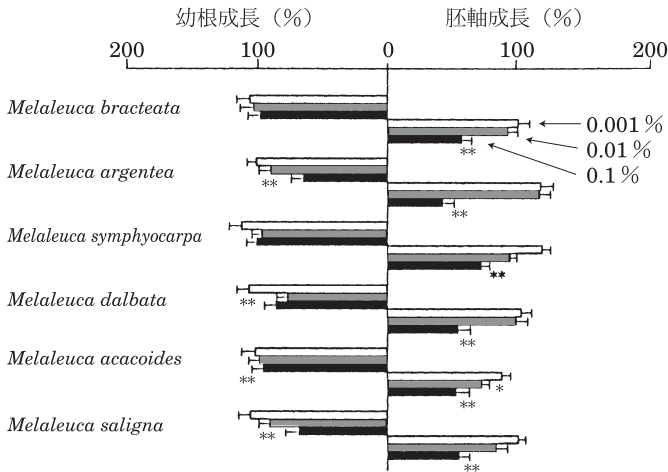
メラルーカ属はユーカリ属同様、周辺の雑草や灌木などの植物の成長を抑えるアレロパシーが強いことでも知られている。メラルーカの周辺は日光が射すにも関わらず、他の植物の生長が悪いが、生えていてもその種類が少ない場合が多い。

アレロパシーは植物が分泌、あるいは放出する成分が土中に蓄積し、他の植物の発芽、生長を抑える現象であるが、ユーカリやメラルーカなどのように葉に精油を多く含む植物は葉から放出される揮発性成分テルペン類がその要因となっていることが多い。乾季、雨季を持つ熱帯地方では乾季に葉から放出されたテルペン類が雨に流されることなく土中に蓄積し、蓄積量が最大になる雨季の初めと植物の発芽の時期が重なるためにアレロパシー現象が大きくなる。葉から普段放出されるテルペン類の濃度はきわめて薄く、ppb単位であり、アレロパシーを発揮する濃度には程遠いが、長期にわたり土中に蓄積されることによってアレロパシーを発揮するようになるわけである。

アレロパシーの有無を実験室レベルで判定するのに使用される検定法が野菜の種子などを用いてシャーレ上で行う発芽・生長試験であるが、それによると、メラルーカ葉油では0.1%濃度で、*M. saligna*, *M. acacoides*, *M. dealbata*, *M. symphyocarpa*, *M. argentea*, *M. bracteata* にハツカダイコン種子を用いた発芽・生長阻害試験で発芽阻害、幼根、胚軸の生長阻害が観察された。最も強い阻害作用を示したのが *M. bracteata* で0.1%濃度で発芽を完全に阻害する。*M. bracteata* の葉油の主要成分は前述のようにフェノール類であり、これらがアレロパシーを引き起こす原因物質であることが予想される。図3はメラルーカ類の葉のメタノール抽出物のハツカダイコンを用いた場合のアレロパシー作用である。全般的に0.01%でアレロパシーを示すことがわかる。

6. ユーカリ類のアレロパシー

早生樹ユーカリは熱帯地域の荒廃林地回復のために植林され、あるいは市街地の緑化木として広く植栽されている。東南アジアなどでよく行われているアグロフォレストリーでは、ユーカリ類はよく利用される樹種である。これらの植林地では落葉が腐食しないで堆積し、林床植生が極めて少なくなる現象がみられる。葉に精油含量の高いユーカリでは、葉から放出され地上に落下して



対照を100%とする。濃度は0.1% * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

図3 メラルーカ葉のメタノール抽出物のハツカダイコン種子に対する成長阻害作用

蓄積する成分も多いが、落葉から直接、あるいは落葉の分解物がアレロパシーを発揮する。アグロフォレストリーの場合には植栽されるユーカリがアレロパシーを持つならば農作物の収率に影響を及ぼすので注意を要する。

Eucalyptus camaldulensis 葉の精油と抽出物のハツカダイコン種子に対する生長阻害作用をみると、精油では当年葉でも前年以前から木についている旧葉でもその作用はほとんど変わりなく、ハツカダイコンの幼根、胚軸の生長をわずかに阻害する程度である。これに対してメタノール抽出物、水抽出物では若葉に強い成長阻害作用がみられるが、落葉には阻害作用はみられない。このことから *E. camaldulensis* の葉の精油には弱い阻害作用はあるが、それよりもメタノールや水に可溶な極性の高い成分がアレロパシーの原因となっていることがわかる。また、若葉に阻害作用があり、落葉に阻害作用がみられないということは、葉に含まれる阻害成分がすでに野外に溶出しているか、分解してしまっていることを示している。分解せずに溶出しているとすればアレロパシーが強いことを意味している。

E. deglupta の場合には若葉だけでなく、落葉の精油も強い生長阻害作用を示す (図 4)。これは落葉になった後も長期間、阻害成分が外に溶出することなく葉の中に留まっていることを示し、すなわち、他の植物に対する作用はあまり強くないことを示している。

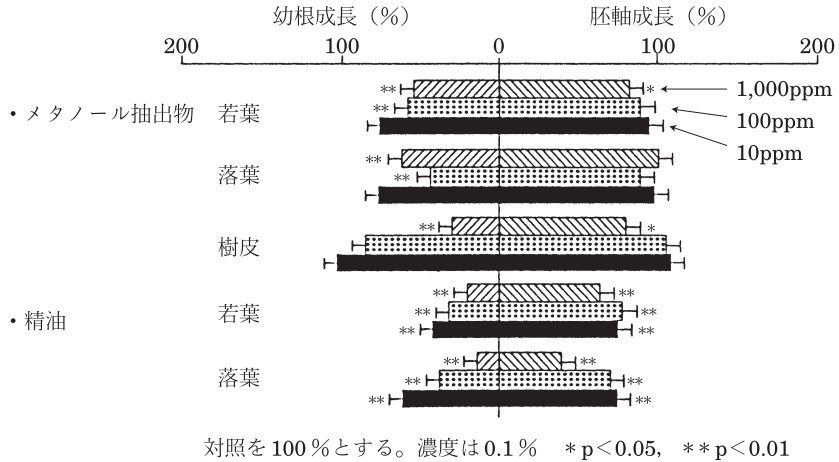


図 4 *E. deglupta* の精油と抽出物のハツカダイコン種子に対する生長阻害作用

ほかには *E. raveretiana*, *E. rassiana*, *E. houseana*, *E. citoriadora* に強いアレロパシーが観察されている³⁾。アレロパシーを持つことで知られているユーカリではあるが、実際には 640 種ほどあるユーカリの中で、科学的に証明され報文に記載されているものは高々 20 種程度で、特に強いものは *E. globulus*, *E. camaldulensis*, *E. baxteri*, *E. microtheca*, *E. delegatensis* など 10 種にも満たない。これらの樹種の周辺には雑草が少なく、裸地が目立つが、それが土壌水分、土壌中の養分不足、日照不足によるものではなく、アレロパシーによるものであることが証明されている。この場合も乾季等の乾燥状態での精油成分等アレロパシー関与物質の土中への蓄積の可能性が考えられる。

7. メラルーカ精油の殺ダニ作用

室内には約 100 種ほどのダニが生息するといわれているが、その中で最も生息割合の高いのが室内塵の中で繁殖するヤケヒョウヒダニ、コナヒョウヒダニのチリダニ類で、喘息やアトピーなどの疾患の原因となっている。メラルーカ葉油にはこれらのダニに対して殺ダニ作用がある。*M. bracteata* はなかでも最も強い殺ダニ作用を示し、精油 $1.3 \times 10^{-4} \text{ mg/cm}^2$ の量で 1 日後には完全にヤケヒョウヒダニを死滅させる (図 5)。その活性成分は精油中に含有率の高いフェノール性成分メチルイソオイゲノール (精油中の含有率 29%)、エレミシ

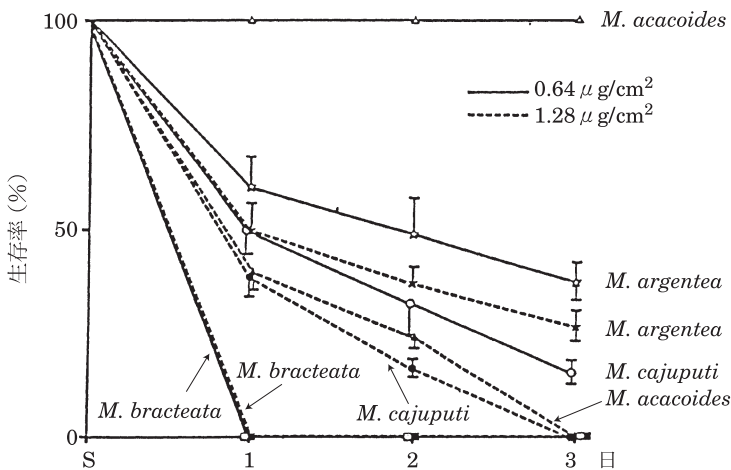


図 5 メラルーカ類葉油の殺ダニ活性

ン (22%), 2, 3-ジメトキシ-5-プロペン-2-イルフェノール (20%) で、これらの化合物だけで精油中の 86% を占めている⁴⁾。

8. おわりに

熱帯樹種の中には精油含量が高く、すでに香料、化学合成原料などとして利用に供されているものもあるが、精油採取法が粗放であり、収率や品質が低く、精油本来の価値を引き出せないままにあるものも多く、また、その生物活性などの働きも未知のものが多い。精油成分を含めた抽出成分の特性をさらに追求することは新たな効率のよい利用法を開発し、熱帯林バイオマスの有効利用を図る上でも必要である。

〔参考文献〕 1) M. Sakasegawa and M. Yatagai, Quality and utilization of essential oil extracted from the abandoned biomass, Proceedings of The International Workshop on “Better Utilization of Forest Biomass for Local Community and Environments” ISBN No., 979-3132-10-8, 127-142(2004) 2) M. Sakasegawa, K. Hori and M. Yatagai, Composition and antitermite activities of essential oils from *Melaleuca* species, J. Wood Sci., 49, 181-187 (2003) 3) 谷田貝光克, 大平辰朗, 中島清, 日本木材学会講演要旨集, 42, 429 (1992) 4) M. Yatagai, T. Ohira and K. Nakashima, Composition, miticidal activities and growth regulation effect on radish seeds of extracts from *Melaleuca* species, Biochem. Sys. Ecol., 26 (7), 713-722 (1998)