

除草剤の泡散布技術の開発（原液編）

青森県立名久井農業高等学校 鈴木奨梧

1 研究の背景

世界中で使用されている化学農薬は、食料や景観を維持するうえで欠かせないものになっている。日本は世界第2位の農薬使用国。なかでも数ある農薬の中でも除草剤は、日本はもちろん世界で最も使われている（図1）。なぜならば除草剤は用途が広く、農地以外の空き地や公園、道路管理など国土作りにも使われているためである（図2）。また散布方法は液剤のミスト噴霧が主流である（図3）。



図1 農薬生産量(日本)

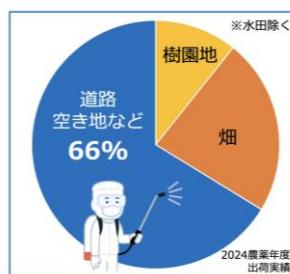


図2 除草剤の使用場所



図3 ミスト噴霧

しかし地域の景観や環境を管理する自治体に寄せられる苦情の多くも除草剤で、理由は人間やペットの健康被害、洗濯物や自動車などへの付着である。これらに共通する原因は除草剤の飛散。風によりミストが飛ばされるからである（図4）。また除草剤の散布量は10a当たり100～300Lと大量である。開発途上国を中心に年間30万人も農薬中毒被害や死亡者が出ており、この原因の多くも除草剤である。除草剤は厳しい国の基準をクリアした比較的安全なものだけが流通しているが、それでも長いものでは数ヶ月から1年以上も土壌に残留することがわかっている（図5）。当然、土壌微生物に対する影響もあり、より環境共生を図る除草剤の開発が求められている。そこで私たちは除草剤被害を軽減するためには、ミストの飛散抑制と使用量の削減が必要と考え、除草剤を泡沫にして散布する技術開発に取り組むことにした。

本研究はグループで行ったが、私は原液作りを主に担当した。本レポートは、緻密な泡を作るための原液研究についてまとめたものである。

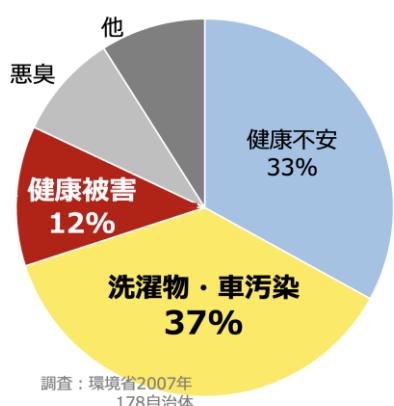


図4 除草剤の苦情(自治体)

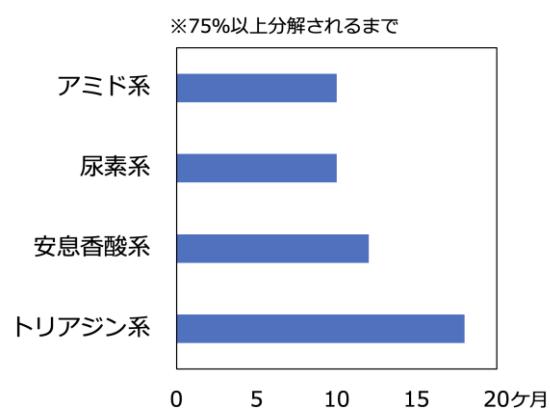


図5 除草剤の土壌残留期間

2 研究方法

2-1 1年目 展着剤（合成界面活性剤）

（1）泡沫化試験

泡には気泡と泡沫の2つがある。気泡は「液体によって気体が閉じ込められた状態」で、その気泡が沢山集まつた状態が泡沫である。気泡は界面活性剤によって表面張力が弱まってできる。その気泡が安定して集まつたのが泡沫なので、泡農薬を作るには泡沫化する必要がある。しかし石鹼や洗剤を入れると植物に悪影響が出る。そこで害のないさまざまな発泡効果のあると思われる資材を水に混ぜて泡になるか試した（図6）。また噴霧は洗顔石鹼用の小型泡スプレーを用いた。なお分量はそれぞれの薬剤用途の推奨量とした（表1）。



図6 試験に用いた資材

表1 資材と添加量

試験区	水に対する添加量	成分
展着剤アプローチ	0.5%	ポリオキシエチレンヘキシタン 脂肪酸エステル 50.0%
椿サポニン	0.4%	椿油かす粉末（天然サポニン）
レシチン	2%	ダイズ抽出（天然レシチン）
ニームオイル	水と同量	ニーム種子の抽出油（ダイコー社製）

（2）落下実験

液剤の多くが散布後に流れ落ちるといわれている。そこで液体散布と泡状散布の違いを調査することにした。植物にはハスの葉に代表されるロータス効果（撥水機能）を持っているものが多くある。そこであえて撥水しやすい草花の葉ボタンを用いて実験を行った（図7）。泡散布は展着剤0.5%液を用いた。



タロイモの撥水



葉ボタン（アブラナ科）



アルミホイルで回収

図7 落下試験の準備

(3) 付着実験

散布後、農薬の多くは流れ落ちるが葉に着くものもある。特に泡状にすると葉に付着しやすいと考えられる。そこで泡の付着時間を調査した。植物は撥水するコチョウランとし、着色した展着剤 0.5% 液を 1.5ml 敷布した（図 8）。



コチョウラン（ラン科）

散布した泡

図 8 泡の付着実験の準備

2-2 2年目 植物（天然界面活性剤）

(1) 植物の選択

世界では洗濯の際、いろいろな泡になる植物を利用してきた。その中で私たちは、日本で手に入りやすいムクロジ (*Sapindus mukorossi*) とサイカチ (*Gleditsia japonica*) と、外来種のセイタカアワダチソウ (*Solidago altissima*) という 3 つの植物を選んだ。ムクロジはアジアに広く分布する高木で、果皮にサポニンを約 4% 含むことから石鹼代わりに使われ、soapberry とも呼ばれている。またサイカチもアジアに分布するマメ科の高木で、莢に天然界面活性剤であるサポニンを約 20% 含むことからやはり石鹼代わりとして万葉集にも記載があるなど長年使われてきた。さらにムクロジの果皮、サイカチの莢は去痰薬、利尿薬など安全な漢方薬として今も利用されている。セイタカアワダチソウは国の生態系被害防止外来種に指定されている駆除対象のキク科植物である。北米原産だがヨーロッパやオーストラリアなど世界中に広がり問題となっている。しかしサポニンを含むことが確認されており、入浴剤にする人も多い。以上、身近なこの 3 つの植物を用いて泡にするにした（図 9）。



ムクロジと果皮

サイカチと莢

セイタカアワダチソウ

図 9 泡立つ植物

(2) 原液の製造

ムクロジは果皮、サイカチは莢、セイタカアワダチソウは花と茎にサポニンを多く含んでいる。そこで水に浸漬及びお湯で煮出して成分を抽出し、原液とした（図 10）。なお使用量は洗剤として使う際の分量を参考にした（表 2）。

表 2 原液の製造方法



図 10 ムクロジ例（左：水出し 右：煮出し）

抽出名	方法
水出し	水 500mL に乾燥した植物 10g を入れ、24 時間浸漬する。
煮出し	水 500mL に乾燥した植物 10g を入れ、15 分沸騰させる。

(3) 表面張力

私たちが求めるのは飛散せず、またすぐに消えない泡である。泡の強度や耐久性は表面張力が弱いほど高まることがわかっている。そこで最適な泡になる植物の分量を見つけ出すために、水 500ml の水に各植物を 5g、10g、15g 入れて原液を作り、泡の様子や表面張力を比較することにした。

なお表面張力の測定機は高額のため、理科教育学会で紹介している簡易測定法を用いることにした。手順は次のとおりである。

<手順>

- ・ 6cm シャーレにそれぞれの原液 20ml を入れる
- ・ 円盤（爪楊枝ケースのふた）を糸で吊りデジタルフォース計に取付ける。
- ・ 円盤を原液に浸漬し、デジタルフォース計で引き上げるときの力を測定する（図 11）。
- ・ 3 回合計の平均値を出し比較する。（単位：N）

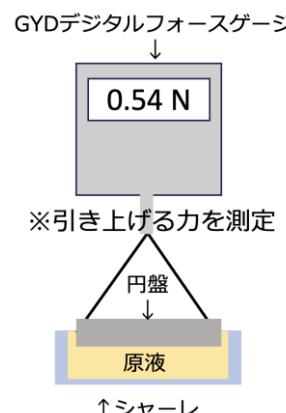


図 11 表面張力の簡易測定（左：測定の様子 右：測定のイメージ図）

3 結果と考察

3-1 1年目 展着剤（合成界面活性剤）

（1）泡沫化試験

目的とするのは、飛散せず形が壊れにくい緻密な泡である。しかし植物系のニームオイル、レシチンでは求める泡にはならなかった（表3）。また椿サポニンはやや泡立ち可能性を感じたが水っぽく求める泡ではなかった。しかし展着剤では、かなり緻密な泡ができた。そこで今後の実験は、展着剤アプローチ0.5%添加液を用いることにした。なお実験は農薬を使わずに行った。

表3 泡沫の形状

試験区	水に対する添加量	泡形状
展着剤アプローチ	0.5%	○ 純密
椿サポニン	0.4%	△ 水っぽい
レシチン	2%	× 泡ならず
ニームオイル	水と同量	× 泡ならず



椿サポニン



展着剤

（2）落下実験

ミスト噴霧した場合と展着剤の泡を散布した場合、どれくらいの量が落下するか実験した（図16）。また散布液量は5mlとし風の吹かない室内で行った。さらに見やすくするため赤く着色した。植物は葉ボタンとした。その結果、ミストでは散布直後に60%の3mlが瞬時にこぼれ落ちた。これは葉ボタンの葉が鋭角に立っているからだと考えられる。しかし泡散布では鋭角でも落下は24%に留まった。残った泡は葉に1時間以上付着したままであった（図17）。



図16 散布後の状態（左：ミスト 右：泡散布）

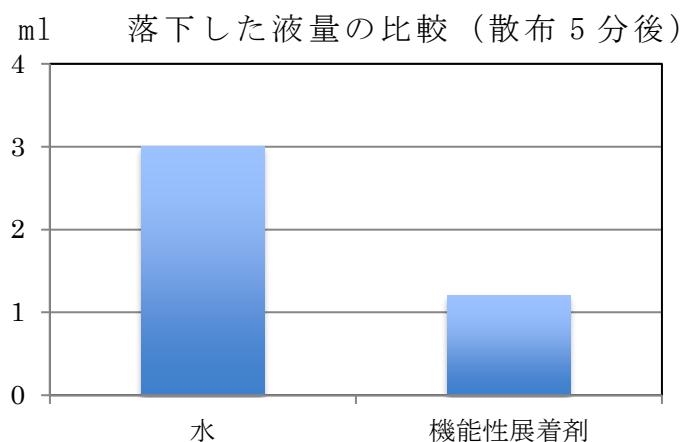


図 17 落下量の比較

(3) 付着実験

葉に付着した泡は時間が経つとどのような形状変化をするのか観察してみた。調査は泡本体の大きさと泡周辺の水になった部分の大きさを5分ごとに調査した。その結果、散布直後の泡の周辺には水の輪はないが、時間が経つと泡がしだいに壊れて水に戻り泡周辺に輪ができることがわかった（図18）。しかし1時間たっても泡本体は80%しか縮小せず、十分な農薬の効果を植物に与えることができると考えられる。



散布直後の泡



1時間の泡

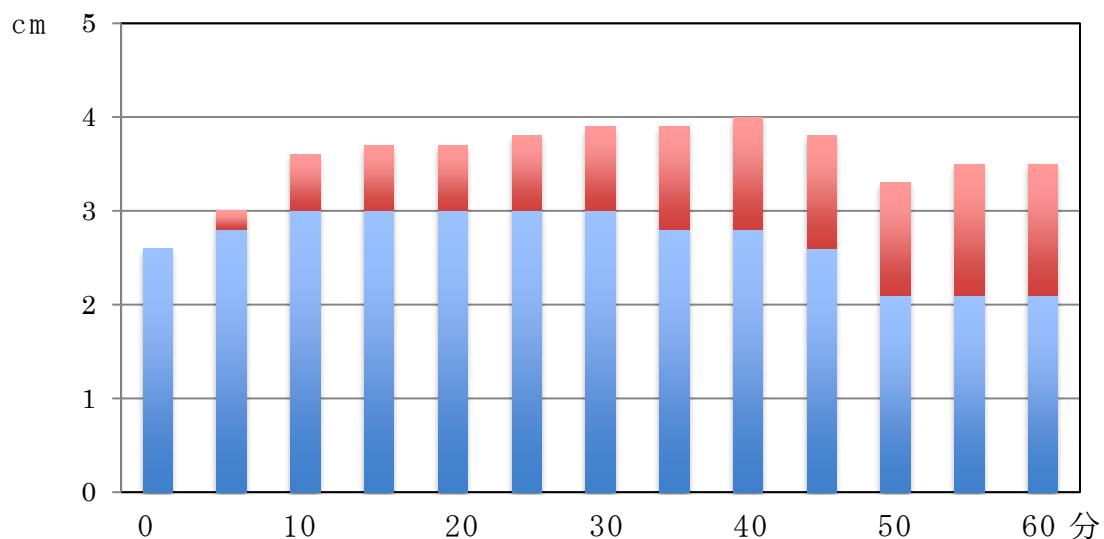


図 18 泡の時間的形状変化（青：泡本体の直径 赤：泡周辺の水の輪の直径）

(4) 総合考察 1年目 展着剤（合成界面活性剤）

飛散しない泡沢を求めて天然界面活性剤や合成界面活性剤の展着剤を用いて各種実験を行った。その結果、今回用いた天然界面活性剤は、まったく求める泡にはならなかった。これは抽出方法や用いた天然界面活性剤成分の含有量などに問題があったと考えられる。しかし椿サポニンは、散布するには水っぽいものの泡立つ傾向にあり、期待がもてる結果となった。それに比べ機能性展着剤のアプローチではわずか0.5%添加で緻密な泡となった。安定性、耐久性、付着生も高く、泡散布への期待が高まった。

ところが問題が発覚した。それは1970年代の日本で発生した河川が泡立つ公害である（図19）。原因は合成洗剤で、その成分が合成界面活性剤である。人工化合物のため低分解性で環境に残留しやすい欠点がある。泡散布すると除草剤の課題を解決できる可能性は見えたが、合成界面活性剤は今も変わらず製造されており、泡散布に用いるとさらに大量使用につながり、環境を汚染する危険性を含んでいる（図20）。その結果、私たちは人工加工物の合成界面活性剤の展着剤での泡散布を断念することにし、2年目は分解性が高く低毒性の天然界面活性剤での泡沢化に挑むことにした。



図19 洗剤公害（1970年代）



図20 合成界面活性剤 生産量の推移

3-2 2年目 植物（天然界面活性剤）

(1) 泡の形状

展着剤（合成界面活性剤）の環境への影響が心配なため、サポニンを含むムクロジ、サイカチ、セイタカアワダチソウで泡沢化に再挑戦することになったが、求める緻密で耐久性のある泡にするには、表面張力を弱める必要がある。そこで3種類の植物を5g、10g、15g入れて作った煮出し原液を用いて泡スプレーで泡沢試験を行った（図21）。

その結果、ムクロジは5gから緻密な泡になったが、サイカチとセイタカアワダチソウは水っぽく15gでやっと使用可能な泡になった。泡をプレパラートにとり、ガラス板で挟み撮影したところ、ムクロジ以外の気泡が大きいことがわかった。表面張力が強いと泡は引っ張られて破れてしまう。これらの泡が大きいのは破れた泡が集まつたからだと考えられる。そこで最適な表面張力を探ることにした。

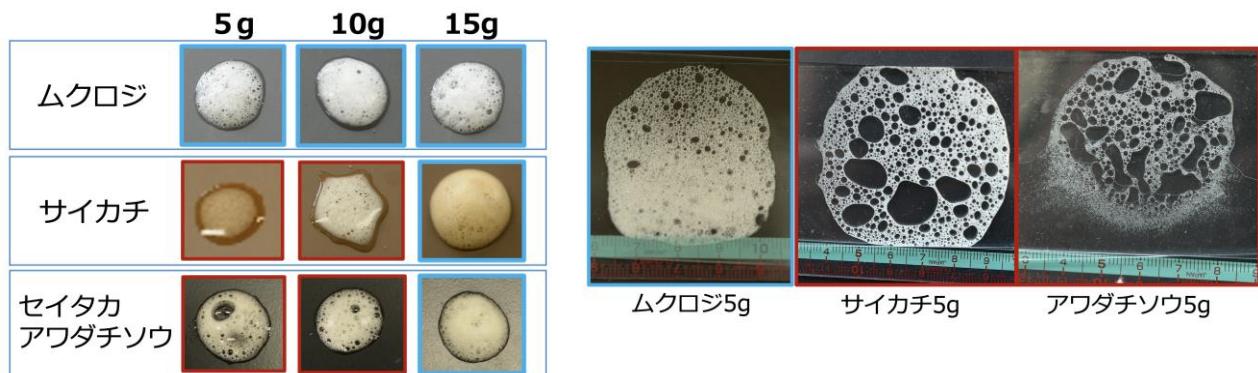


図 21 泡の形状比較

(2) 表面張力

ムクロジ 5g、10g、15g を煮出した原液をデジタルフォース計による表面張力の簡易測定を行った。その結果、ムクロジが多くなれば表面張力が小さくなることがわかった（図 22）。次にサイカチ、セイタカアワダチソウの測定データと比べてみると。するとやはり浸漬量が増えると表面張力が小さくなかった（図 23）。これは天然界面活性剤の効果だと考えられる。

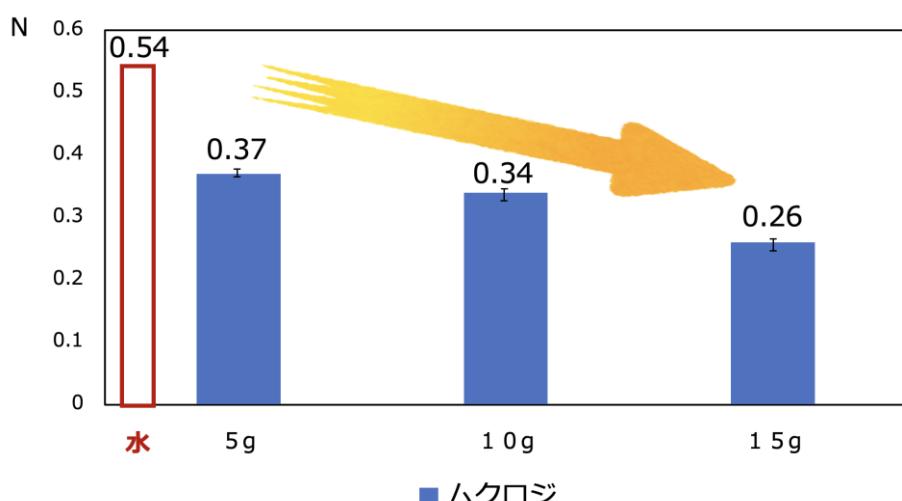


図 22 ムクロジ原液の表面張力

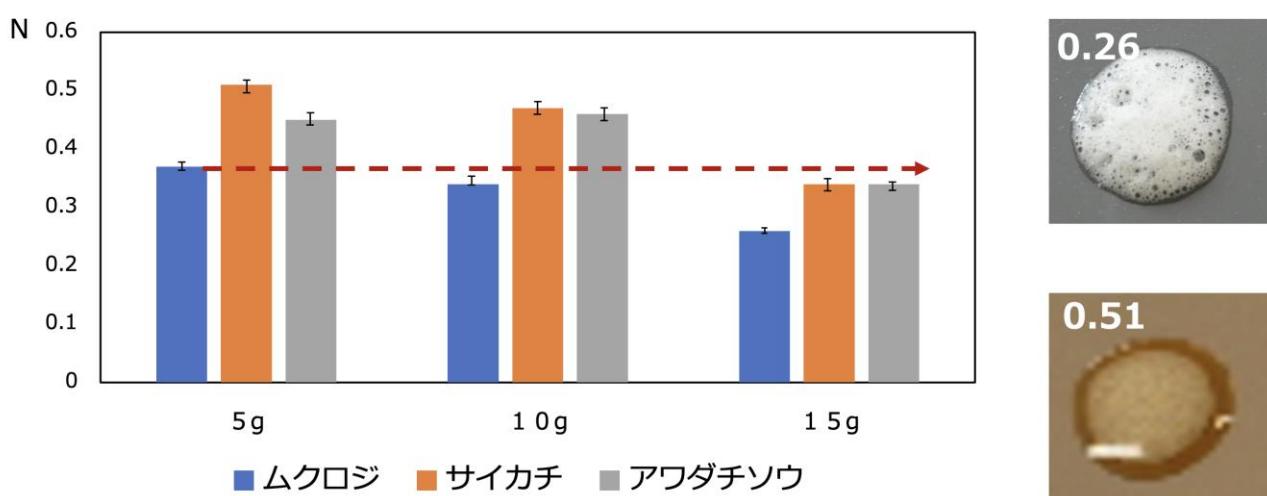


図 23 各植物の表面張力

また水っぽい泡になったサイカチ、セイタカアワダチソウは、ムクロジと同じ浸漬量でも表面張力が大きいことがわかった。ムクロジ 5g の表面張力が約 0.37N、サイカチ、セイタカアワダチソウが緻密な泡になった 15g 浸漬の表面張力は約 0.35N であることから総合的に考察してみると、緻密な泡になるのはおよそ表面張力 0.4N 以下であることが判明した。これは原液作成にとってとても役立つ科学的根拠になる。

4 まとめ

途上国で発生している除草剤による水質汚染、飛散することでの人体や水棲生物への被害を抑制するために、泡散布技術の開発を行ってきた。1年目は、展着剤で挫折したが、地域の農家の方からたくさん問い合わせがあり、大いに励まされた。そこで2年目は環境や生命への影響に配慮し、100%植物由来の天然界面活性剤を用いてさらに研究を深めてきた。しかし植物も用いた研究例がなく、とても苦労した。試行錯誤の結果、化学薬品の展着剤を使わなくても、植物のムクロジ、サイカチ、セイタカアワダチソウを用いることで安価に泡沫化できることもわかった。特にムクロジは低濃度でも緻密な泡になることを明らかにした。

私が担当したのは、風に飛散せず、すぐ消えない緻密な泡となる原液作りである。その結果、植物を多く浸漬すると表面張力が小さくなること、また特にムクロジが小さくなることを突き止めた。さらに緻密な泡になる表面張力が 0.4N 以下であることも明らかにした。このように数値化できたことは、勘に頼ることなく安定して製造することに大いに貢献するものである。

なお私たちの目的のひとつに、除草剤を含めた農薬被害が多い開発途上国への普及を掲げている。その際、保全性や輸送性を高めるためにムクロジなどの植物のパウダー化を考えた。するとつくばの企業の支援でフリーズドライにすることに成功した。パウダー化することでよりサポニンが溶出したやくなつたのではないかと考え表面張力試験を再度行った（図 24）。

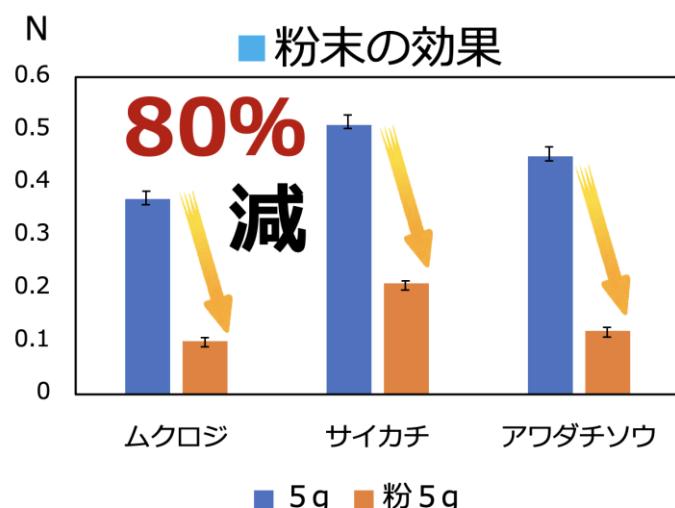


図 24 粉末化と表面張力

その結果、ムクロジはもちろん、サイカチやセイタカアワダチソウでもパウダーにすれば表面張力が従来の80%も小さくなること、さらにパウダー5gあれば、いずれもムクロジ15g相当の表面張力になることがわかった。植物が3分の1で同様の効果のあるパウダー化は、世界に普及するうえで大きな力になると確信している（図25）。



図25 パウダー（左：ムクロジ 中：サイカチ 右：セイタカアワダチソウ）

5 今後の展望

世界にはサポニンを含むさまざまな泡になる植物や動物がある（図26）。これらを活用すればムクロジなどに限らず、世界各地ならではの泡散布技術が確立できると期待している。そして普及のため使用法を世界に発信し、安全安心な環境と人間の健康維持に貢献するつもりである。



図26 サポニンを含有する世界の主な植物