

## ■ 特 集 ■ 植物資源のエネルギー化

## 石油植物の探索

近 藤 典 生<sup>\*</sup>  
Norio Kondo

## はじめに

今世紀における私達人類社会の経済発展に石油の果たした役割は実に大きく、どちらかといえば石油に依存したものであるといっても、あながち過言ではない。そのことは1973年から1974年にかけての第一次石油ショックが、世界の経済に極めて大きな影響を与えたことから明らかであるといえよう。石油の問題は全く石油資源をもたない、しかも石油に依存度の高い我が国にとっては実に重大である。

ところで、石油の埋蔵量については諸説があり、その量は膨大で今後数百年は優に供給可能であるとの見方もあるが、石油も太古の植物により固定された太陽エネルギー即ち化石資源である以上有限であることにはちがいない。所詮、遅かれ早かれ枯渇という事態のくることは当然の帰結と考えざるを得ない。更に石油の埋蔵は地域的に限定されているから産油国と非産油国があるわけで、石油が政略や戦略物資として利用されることもいなめないのである。

石油（石炭も含め）の価格はかつて安くしかも安定していた。しかし、第一次石油ショック以降の上昇は著しく、年間10%を上回る予想以上の高騰を示し、1980年代の半ばには恐らく1バレル60ドルになるであろうと推測されている。このように考えてくると人類の将来にとって最も重要なのは、食糧は勿論であるが、エネルギー問題の解決であるといわざるを得ない。狭い国土に1億以上の人口をようしながら、石油資源を全く有しない我が国にとっては更に重大な問題である。政府が石油代替エネルギーの開発を緊急課題としてとりあげ、原子力利用、地熱利用、石炭の液化は勿論のこと太陽エネルギー利用などの開発研究に力を入れる

に至ったのはけだし当然である。

このような開発研究の中に再生産性資源としての高エネルギー植物の研究が組込まれ、アルコール生産を目的とした澱粉・糖質植物および油脂植物の他、石油植物が対象としてあげられている。石油植物という名称は比較的新しいもので、ノーベル化学賞をうけられたカリフォルニア大学教授のカルビン（Melvin Calvin）博士がテルペン系炭化水素および関連化合物などの高発熱量物質を生産含有する植物を“Gasoline tree”と呼んだことに由来している。したがって、石油植物について記述するには充分な有機化学の知識を必要とするので、筆者がその任に相当であるとは考えていないが、古くから現在石油植物と呼ばれるようになった植物に興味をもち手がけてきた一人であるので、石油植物の探索の立場からあえて筆をとる次第である。

## 研究の現況と必要性

## 石油植物

エネルギー問題は極めて重大であり、それを解決するためには諸種の面からの開発研究が進められなければならない。カルビン博士はユーホルビア属植物にテルペン系炭化水素および関連化合物などの高発熱量物質が生産し含有する植物のあることを提唱した。もし生産経費より算出される目的とする生産物の価格が原油価格と大差がないならば、再生産性をもった植物資源であるので極めて大きな意義をもつことになろう。

既にカルビン博士の企画指導によりホルトソウ（*Euphorbia lathyris*）栽培実験が米国のロスアンゼルス近くのサンタ・アナの実験農場で行われており、またオーストラリアのメルボン大学でもHalloran氏により若干の予備調査の後ホルトソウに的をしばって蜜植栽培の実験が行われているとのことである。

アオサンゴ（*E. tirucalli*）についても、カルビン博

\* 東京農業大学育種学研究所教授

士の指導で前記のサンタ・アナにおいて栽培実験を指導しておられ、我が国でも積水化成工業 K. K. が沖縄の名護市で上田耕平出張所を中心に試験栽培を行っている。

我が国ではこの他にも石油植物に関する試験研究が始められており、昭和 55 年度スタートした文部省のエネルギー特別研究のなかにも石油植物関係の分担課題があげられている。

そして数種の植物について含有されている炭化水素および関連化合物の分析や栽培の基礎実験が行われているが、この種の研究はやっと始められたと見るべき程度のものである。

これらの植物はどちらかといえば我が国の諸条件から大規模な栽培の可能性は考え難い種類であり、しかもカルビン博士のホルトソウの基礎実験からの試算、1年間に1ヘクタール当り20バレル採れ、1バレル当りの栽培費および抽出経費がそれぞれ10ドル、設備費が40ドル、合計60ドルとみていることから、我が国においてはとうてい経済的に成立し得るものとは思えない。したがって我が国におけるこのような研究に対し否定的な考えをもたれる方も多いようである。

しかし石油植物として考え得るものは、或る程度の温度条件さえあれば現在全く放置されている乾燥地帯で充分生育し得る特殊な種類である。

カルビン博士はもし石油植物がヘクタール当り65バレル生産し得るとすればアリゾナ州だけでも、そのような耕作可能地が、3,000万ヘクタールある。そのうちの3分の1で石油植物を栽培すれば、現在アメリカの消費量の10%が賄えるだけの生産が可能であり、その量はアラスカ油田の産油量よりはるかに多いとしている。

このような現在放置された乾燥地帯はアフリカ大陸、中近東は勿論のこと東南アジア、中南米に膨大な面積である。

従来の栽培植物と異なり、大規模な灌漑施設を行わずに栽植が可能であり、乾燥地帯の緑化にもつながるので、石油植物の研究は将来の人類にとって極めて重要な課題といえよう。このように考えてくると我が国に於いて石油植物の栽培の可能性が無いからといって等閑視していてよいとはいえないし、世界の指導的役割を果すべき責任をもった我が国の研究者のうちに、このような方面の専門家エキスパートがそだっている必要がある筈である。

## 探索の対象となる種類

石油植物として現在話題にあがっているのは前記したアオサング、ホルトソウおよびユーカリ樹などの限られた種類で、炭化水素化合物の分析が行われたのは、これらにつながる極めて僅かな種数に過ぎない。ところがアオサングおよびホルトソウの属するトウダイグサ(ユーホルビア)科には300属5,000~6,000種があり、ユーホルビア属で2,000種を算え、アオサングのグループ(節)だけでも70種以上もある。

最近、かつてカルビン博士のもとで石油植物の研究を行ってこられた北大の西村弘行氏が「発酵と工業」や「SOLAR ENERGY」誌などに石油植物についての論文を書いておられ、トウダイグサ科のステロイド系トリテルペン類の分布表を掲載されておられるが、それら19種のうちの15種がユーホルビア属、2種がユーホルビア属と同じトウダイグサ科の各属とアカテツ科およびカガイモ科のそれぞれ1種の植物である。このことからわかるように単にトウダイグサ科のみにとどまらず、他の科にも石油植物としての可能性のある植物が存在することがわかる。石油植物としての可能性の目安としては切り口から乳液の出るラテックス植物ということになる。

## ラテックス植物

ラテックス植物と称し得る植物は多くの科にまたがって存在する。最もよく知られているのが、アオサングやホルトソウの属するトウダイグサ科である。トウダイグサ科には前記した如く多くの属があり、それぞれに更に多数の種が存在するが、それらの殆んどが茎や枝などの切り口から乳液をラテックス植物である。ゴムの大規模に栽培されているパラゴムの木(*Hevea brasiliensis*)は原産がブラジルのアマゾン流域であり、トウダイグサ科の植物である。

次にクワ科があげられよう。クワ科にもラテックス植物が多い。我が国で一般にゴムの木と称し、観葉植物として鉢植えなどと利用されている *Ficus elastica* や、沖縄や九州海岸地帯などに自生しているアコウ(*F. wightiana*)などはクワ科の植物である。*Ficus elastica* は硬く弾性の強いゴムがとれインドネシアのスマトラの離島で栽培が始められているとのことである。

アカテツ科、キョウチクトウ科、菊科などにもラテックス植物がある。前記した如く西村氏のトウダイグサ属(科)植物中のステロイド系トリテルペン分布の表

中にあげられている *Achras sapota* はアカテツ科の植物である。海底電線の被覆に用いられるゴムはアカテツ科のガッタパッチャよりのゴムである。また最も良質のゴムが得られるという台湾ゴムカツラ *Funtumia elastica* はキョウチクトウ科の植物であり、メキシコ北部からテキサスなどが原産のゴム植物 *Parthenium argentatum* は菊科の植物である。この *P. argentatum* はメキシコでは工業的に生産しており、アメリカでも太平洋戦争中はこのゴムを積極的に生産していたが、戦後まったくかえり見られなくなった。しかし、1978年アメリカ議会はこのゴム生産プロジェクトの開発資金として総額3000万ドルを支出することが議決されたとのことである。これらの他、現在活用されている実例があるか否か定かでない。ガガイモ科にもラテックス植物が多く存在する。

ユーホルビア属植物

石油植物の探索を行うには先ずラテックス植物に目をつけ、次に含有炭水素化合物の分析を行う必要がある。しかし乍ら、増殖が困難であったり、成育の悪い種類ではいかに含有成分として優れていても生産にはつながらない。従って繁殖性が強く、成育の旺盛であることが第一条件となろう。

このような観点から多肉ユーホルビアのうち有望と思われる種類を次にあげてみることにする。

生長、成育が旺盛で有望と思われる種類。

I. 中木で刺がなく、細い枝の多く出る型

緑枝類

種名	和名(園芸名)	原産地
<i>E. tirucalii</i>	アオサンゴ	アフリカ
<i>E. intisyi</i>	ゴムサンゴ	マダガスカル
<i>E. xylophylloides</i>	ヘラサンゴ	マダガスカル
<i>E. stenoclada</i>	ギンツノサンゴ	マダガスカル
<i>E. ambatofinandrae</i>	シカツノサンゴ	マダガスカル
<i>E. onoclada</i>	フクレサンゴ	マダガスカル

その他 *E. alluaudii*, *E. leucodendron* など

II. 中木で、刺があり、時に葉が大きく、枝の多い型

<i>E. neriifolia</i>	キリンカク	パキスタン・印度
<i>E. grandidens</i>	スミダノユキ	南アフリカ

III. 大木になり、有刺で、枝の太い型

<i>E. ingens</i>	チュウテンカク	アフリカ
<i>E. trigona</i>	サイウンカク	アフリカ
<i>E. reinhardtii</i>	ゴサイカク	アフリカ

その他



図-1 *Euphorbia intisyi* と右後方が *E. xylophylloides*  
(第二次東京農大マダガスカル学術調査・水野辰司写)



図-2 *Euphorbia xylophylloides* の一系  
(第二次東京農大マダガスカル学術調査・水野辰司写)



図-3 *Euphorbia stenoclada*  
(第二次東京農大マダガスカル学術調査・水野辰司写)

VI. ブッシュタイプ

<i>E. milii</i>	ハナキリン	マダガスカル
<i>E. hislopi</i>	センリコウ	マダガスカル

その他ユーホルビア以外の属として

Monadenium 属

<i>M. schuberi</i>	ソウリュウカク	アフリカ
<i>M. lugardae</i>	ヒスイカク	アフリカ

<i>Pedilanthus</i>		西インド諸島
<i>P. carinathus</i>	ギンリュウ	・北米
<i>P. smallii</i>	ハナギンリュウ	ブラジル

## Synadenim

S. grantii            コウヨウキリン    アフリカ

上記以外にもまだまだ有望と思われる種類があるが、一応この程度にとどめ、若干の解説を加えることとした。

A. マダガスカル産のユーホルビア属緑枝類は種類が豊富で、西南部の石灰質に富む乾燥地帯はみわたす限りこれらユーフォルビアの業林となっている。かつてマダガスカルでは *E. intysii* を始めとする数種から乳液をあつめゴムを生産していた。これ等の種類は乾燥に強く、生育も旺盛であるから最も興味ある種類と考えられる。そこで *E. intysii* 他、数種についての成分分析を東京農大の大沢貫寿講師により行ってもらったが、種により差異がみられた。これらの仲間は同一種内に変異が多くみられるので、系統別探索が必要であろう。

B. ハナキリン類は我が国でも鉢物として生産されているが、道路の緑化にも活用されており、繁殖が容易であるばかりでなく、生育も旺盛で寒さにも可なり強い(0°Cまでは枯死することは無い)。更にこの仲間にはアメリカの園芸家によって作出された雑種(恐らく種間雑種)系統がいくつかあり、あるものは茎が原種よりはるかに太く生長が旺盛で株立性の強い、有望と考えられる系統(品種)がある。これらについての分析と諸種の環境条件下における生長量の調査を実施すべきであると考えている。

西村氏によるとユーホルビア属植物のラテックス中にはエネルギー的に重要な中性低分子量物質が重量で全ラテックスの25~30%含まれており、その約95%以上がラノステロール(lanosterol)、シクロアルテノール(cycloartenol)、ユーポール(eupol)、チルカロール(tircallol)、ユーホーポール(euphorbol)などのステロイド系トリテルペン類である(大沢氏の分析結果もほぼ同じである)。ところで、これらのトリテルペン類は固形であり、またユーホルビア属植物には発癌性を促進する物質を含んでおり石油代替燃料とするには問題があるとし、同氏としては石油植物としてむしろユーカリ類に興味を持ち、研究を進めておられるようである。しかし石油植物の研究は直石油代替燃料としてのみでなく、石油化学の原料としての意義もある筈で、そのような意味も含め石油植物の探索研究は進められるべきであろう。

## 石油植物としてのユーカリ属植物

ユーカリ属(*Eucalyptus*)植物はオーストラリアが

原産で、分類学的にはフトモモ科(Mystaceae)に入れられており、種数が非常に多く人によれば約400種、約600種ともいわれている。このユーカリ属植物は生長が非常に速く、瘦地でもよく成育するところから古くから世界各地に導入され、栽植されている。特に都合のよいことは萌芽性が強く根本から伐採しても3年もたてば10m位には生長する。南アフリカのケープタウンにあるクリステンボッシュ植物園の正門前道路の並木となっているユーカリは巨木となっており、マダガスカルにも広く栽植され、国道1号線タマタベ街道の並木のユーカリも相当の老木である。またカリホルニアやメキシコ市郊外にも広大なユーカリの栽植地がある。もっと驚いたのはネパールのカトマンズの道路並木として多数のユーカリ樹がとり入れられていたことである。

ユーカリ樹を木材として活用している国は多い。ブラジルでは数十年前から略奪農業を行ったサンパウロ周辺の後地にユーカリを栽植し、薪炭用として活用していた。

我が国にも可成り古くから若干は導入され、植えられている。しかし多量に栽植されたのは30年近く前のことだった。我が国には他に有用造林樹種があり、ユーカリが風にも弱いのでそれ程普及はしなかったが、ところどころに現在もまとまったユーカリ林がある。また園芸切花用として銀葉ユーカリなど特殊な種類が栽培されたが、現在では少なくなっている。

このようなユーカリ植物が石油植物として脚光をあびるとは誰も想像しなかったところであろう。しかしよく考えてみれば当然のことのようである。すなわちユーカリには揮発性精油成分が含まれておりモノテルペンであることは知られていたし、オーストラリアではレモンユーカリの精油事業が行われていたことから充分理解できる。

西村氏の研究によると現時点で最も有望視できるのは *E. radiata* で燃料成分として重要な精油成分が若木生重の4.2%で高沸点および不揮発性化合物が4.5%あり、合計すると8.7%となり、1tの若木から灯油缶約5本分がとれるとのことによるそうである。この数字は可成り興味あるものといえよう。

それにしてもより有望なユーカリの種類がないか、また育種により、含有量の多い系統が育成できないものかなどにつき研究を進める必要があるであろう。増殖法や、収穫時期や収穫法更に抽出法に関する研究が、単にユーカリのみに限ったことではないが、必要のよ

うである。

## おわりに

石油植物に関する研究はやっと緒についたばかりであり、現在の段階で石油植物研究の将来性を論じることにはできないが、現在までの我が国における農業的考え方で、作物的な感覚であつかうことには問題があるように思えてならない。どこまでも一般の作物を栽培することが極めて難しい地域を対象に考えるべきである。したがってこの種の研究は単に自国のことだけを考慮するものでなく、地球的全人類の将来を考慮するものであるべきであろう。現在話題となっている植物

ユーホルビアやユーカリはその可能性のある特性をもっている。

次は直ちに代替燃料としてでなくバイオマスとしての総合的利用を考え探索評価を行うべきであろう。

このように考えてくるとあまり有望で無いようにみえるガガイモ科や菊科のなかにも興味ある植物が見つからないとは限らない。

このような意味から石油植物は広く探索することが必要であり、専門を異にした多くの研究者の密接な協力体勢チームワークにより研究を進めることにより始めてよき成果が期待できるものであると考えられる。

## 話の泉

### 水割り燃料

微粉炭燃焼に水のスプレーを吹込むことは常識化しており、さらに重油の燃焼にも水蒸気を吹込んでいます。この場合の燃焼に対する水の作用は、結局燃料の燃焼を促進し、完全燃焼しその結果として熱効率の上昇にあるらしい。

石油ショック以来省エネルギーの目的で、特に内燃機関の省燃費、出力の増加を目的としたと思われる石油、ガソリンへの水割り（水の混入）が話題となっている。

微粉炭の燃焼炉の中への吹込みに水のスプレーを伴った場合には、微粉炭の燃焼状態がよく未燃焼の煙が少なく、それだけ完全燃焼することによってカロリーアップが期待されるといわれている。

重油炉への水蒸気吹込みは、以前は圧搾空気による油の噴霧が行なわれて来たが、その後高圧スチームまたは超音波による油の噴霧が一般化しており、カロリーアップに貢献しているらしい。これらは何れも重油の粒子の微細化による完全燃焼の結果だと一般に認められている。

最近灯油、ガソリンに水を直接エマルジョン状態で混合した場合のカロリーアップ、或は恰も水を混合しただけ燃料の節約を意味するような表現もみられるが、水は果して燃料の代りとしてエネルギー源となり得るだろうか。

エンジンに使用するガソリンに水を混合した場合、水はガソリンの燃焼時の高温度においてその一部が熱解離し  $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2$  となり次の瞬間に再びこれが反応し爆発力に付加される。水の混合も20~40%位まで可能で、それだけガソリンの代りとして作用するというような表現もみられる。

この説明の中に高温度における水の解離に必要な熱量については何等の言及もないが水の解離熱を考えれば熱量的には±0となる筈である。

しかし現実には混合された水は燃焼排気中に水蒸気の形での存在を否定することはできない。ここで考えられることは、高温下において水が熱解離し燃料の燃焼をその触媒的作用による完全燃焼化が考えられる。もし従来の燃焼が不完全であったとすればそれだけ水の効果が発揮されることになる。

不完全燃焼とは必ずしも黒い煤煙の排出を意味するものではなく、 $\text{CO}_2$ だけでなく $\text{CO}$ の状態でも排出されるとすればそれだけ不完全燃焼と云うことができよう。燃焼した $\text{CO}_2$ は高温下において  $\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO} + \frac{1}{2}\text{O}_2$  に熱解離することから、これを水の触媒作用によって左方に移行する作用があるとすればそれだけ発熱量は増加することになる。

水の存在はその触媒的作用によるガソリンの完全燃焼への作用とすれば、水の燃料への混入は或程度までは燃費節減の一つの方法と云うこともできよう。

(F)