

気候変動および異常気象リスクを見据えた油脂原料の獲得

～ 持続可能な油脂調達 ～

一般財団法人 油脂工業会館  
油脂原料獲得研究会

序文	1
第1章 はじめに	2
第2章 油脂原料の現状	3
2-1 世界の油脂生産事情と消費動向	3
2-2 世界の油脂需要予測	6
第3章 気候変動および異常気象に対して油脂産業が抱える課題	8
3-1 気候変動および異常気象の定義	8
3-2 気候変動および異常気象のメカニズム	8
3-3 気候変動および異常気象が油脂業界にもたらす影響	8
3-3-1 世界平均地球気温の上昇	8
3-3-2 世界降水量の上昇	10
3-3-3 世界の天候・異常気象	10
3-3-4 気象変動および異常気象が油脂業界にもたらす影響	11
3-3-5 主力油脂原料が抱える環境問題	12
3-3-6 油脂調達と環境保全の両立	15
3-4 気象変動および異常気象に対応するための課題	17
3-4-1 気候変動および異常気象の将来予測	17
3-4-2 予想されるリスク	18
3-4-3 国際社会の課題について	22
3-4-4 油脂産業が取り組むべき課題について	23
第4章 持続的な油脂原料獲得のための施策	25
4-1 取り組むべき対応策	25
4-2 油脂調達を通じた気候変動の緩和策	25
4-2-1 認証油の調達	25
4-2-2 森林資源の保全と回復	27
4-2-3 バイオ燃料の活用	29
4-3 油脂生産性向上による気候変動への適応策	29
4-3-1 パーム油の生産性向上	29
4-3-2 大豆・なたねの品種改良	31
4-4 新たな油脂やバイオ燃料供給に向けた技術開発	33
4-4-1 バイオ燃料の原料シフト	33
4-4-2 新たな油脂原料の探索	38
4-5 気候変動対策活動の客観的な評価	40
4-6 各企業の具体的取組	41

第5章 提言	4 3
5-1 「負の連鎖」克服へ	4 3
5-2 「負の連鎖」への各施策の課題（4章で明示）と対策	4 3
5-2-1 緩和策	4 3
5-2-2 適応策	4 4
5-2-3 新技術	4 5
5-3 「負の連鎖」に対して包括的対策の提言	4 8
5-3-1 包括的対策の必要性	4 8
5-3-2 環境保全に繋がる包括的ビジネスモデル	4 9
5-3-2-1 環境対応型製品の市場定着化を目指して	4 9
5-3-2-2 包括的ビジネスの展開により「負の連鎖」を「正の連鎖」へ転換	5 0
第6章 おわりに	5 3
参考資料・ホームページ	5 4

## 序文

国内では、2018年近畿・四国地方を台風21号が襲い、2019年は台風15号、19号、21号が関東・中部・東北地方を襲い、豪雨による、土砂災害・堤防の決壊・洪水が広範囲で起こり、甚大な被害を及ぼしました。このような気候変動に伴う異常気象が世界各地で顕在化していることから、地球温暖化の主要因として相関性が高いとされる温室効果ガス（二酸化炭素）の排出量削減が最重要課題として掲げられ、脱炭素社会に向けて世界各地で活動を展開されています。

温室効果ガスの排出量を将来的（2050年）に実質にゼロまで減らすことを目指す「パリ協定」の実現に向けて、国連の温暖化防止会議（COP25）が2019年12月にスペイン・マドリードにて開催され、各国が提出する温室効果ガスの削減目標を引き上げるべく協議が行われました。残された課題は多く2020年11月イギリス・グラスゴーでのCOP26での解決に世界中の人々の関心が寄せられています。

また、別の視点では、2015年9月に国連総会で『SDGs（持続可能な開発目標）』が採択され、政府や自治体、企業などで様々な取り組みが展開されています。

2030年に向けたSDGsの17の目標の中にも気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策も組み込まれております。

このような状況の中、令和元年度の研究テーマとして「気候変動及び異常気象リスクを見据えた油脂原料の獲得」が取り上げられました。業界各社から参加された研究会メンバーは、「油脂原料の持続可能な調達」を最終目標に掲げ、議論・検討を積み重ね、ESG（環境・社会・ガバナンス）観点にも着目した油脂産業への提言としてこの報告書を作成しました。

今回参加されたメンバーの熱意とご努力に心から敬意を表すとともに、この報告書が油脂産業界だけでなく、同業界を取り巻く総てのステークホルダーとの持続可能な取り組みについて考えていただくきっかけになれば幸いです。

令和2年3月

一般財団法人 油脂工業会館  
理事長 濱 逸夫

## 第1章 はじめに

昨今、世界各地で頻発している干ばつや異常高温などの異常気象現象に対して、気候変動によるものではないかとの懸念を抱いている。また、その異常さは、年々激甚化・長期間化しているため、気候変動に伴う異常気象の発生とそれによる地域的な影響の研究には世界規模で取り組む必要があると考える。

この取り組みは、油脂産業界においても重要であり、今回の研究テーマ「気候変動及び異常気象リスクを見据えた油脂原料の獲得」では、気候変動及び異常気象が同産業界にもたらすリスクを長いスパンで予測し先行対応する（先んじて対策を取る）ことで油脂原料の獲得を持続可能な調達に導くことが我々に課された役割として捉え活動に取り組んだ。

2015年9月に国連総会において『SDGs（持続可能な開発目標：Sustainable Development Goals）』が採択されて以降、政府や自治体、企業などで様々な取り組みが展開されている。2030年に向けたSDGsの17の目標の中で13番目「気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる」が、本研究テーマの根底にあり、油脂産業界においても気候変動との適応と緩和策が、気候変動のリスクを低減し管理するための相互補完的な施策であると考え、適応と緩和の両方の重要性に着目しつつ、そこに新たな技術開発を繋ぎ合わせることで持続的調達が可能となると考えた。

その中で我々は、

- ① 自然環境と調和すること
- ② 行政と共に業界団体、海外サプライヤーを含む総ての利害関係者と協力すること

にも議論を発展させ検討を行った。また、SDGsの達成に貢献するためのキーワードである『ESG（環境・社会・ガバナンス：Environment Social Governance）』の観点にも着眼した。

以上、本報告書を通じ、サステナブルな油脂産業界の実現、ひいては関連するステークホルダーとの持続可能な取り組みへと繋がることを期待する。

## 第2章 油脂原料の現状

### 2-1 世界の油脂生産事情と消費動向

油脂原料の持続可能な獲得を検討するにあたり、植物油脂を対象に、生産や消費の現状についての調査を行った。世界の植物油脂13種の生産量、消費量（非食用含む）の推移をそれぞれ図2-1、図2-2にまとめた。植物油の生産量と消費量は連動し増加を続けており、2001/02年から2018/19F(見込み：Forecast)年の17年間で生産量・消費量は約2倍となっている。2018/19F年の生産量は全体で2億665万tであり、このうちパーム油が7,765万t、大豆油が5,630万tで、この2種が世界の植物油脂生産量の6割以上を占めている。

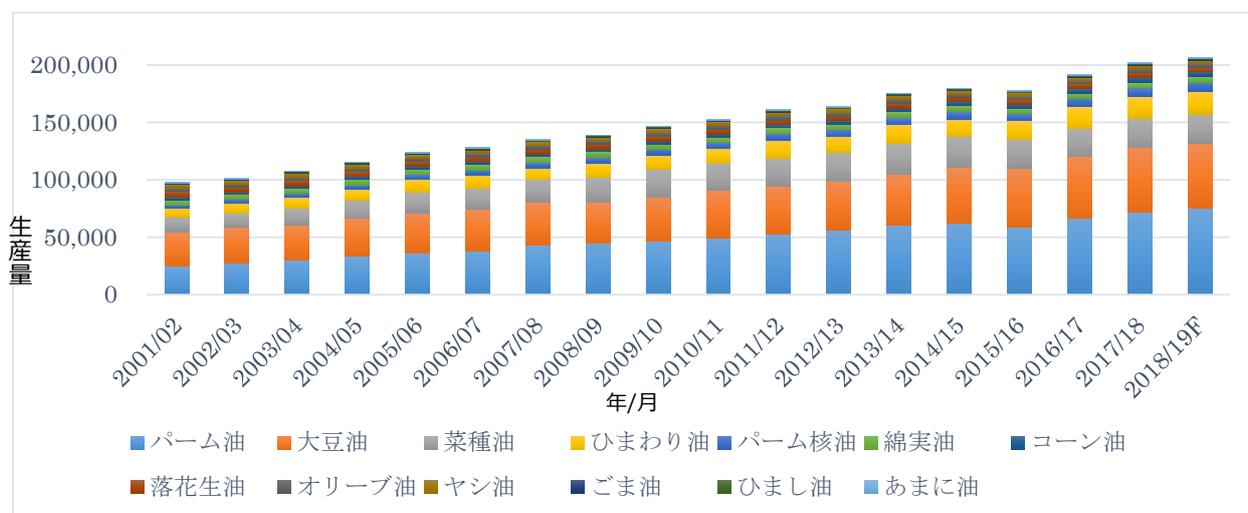


図2-1 植物油脂の生産量の推移（単位：1,000 t）

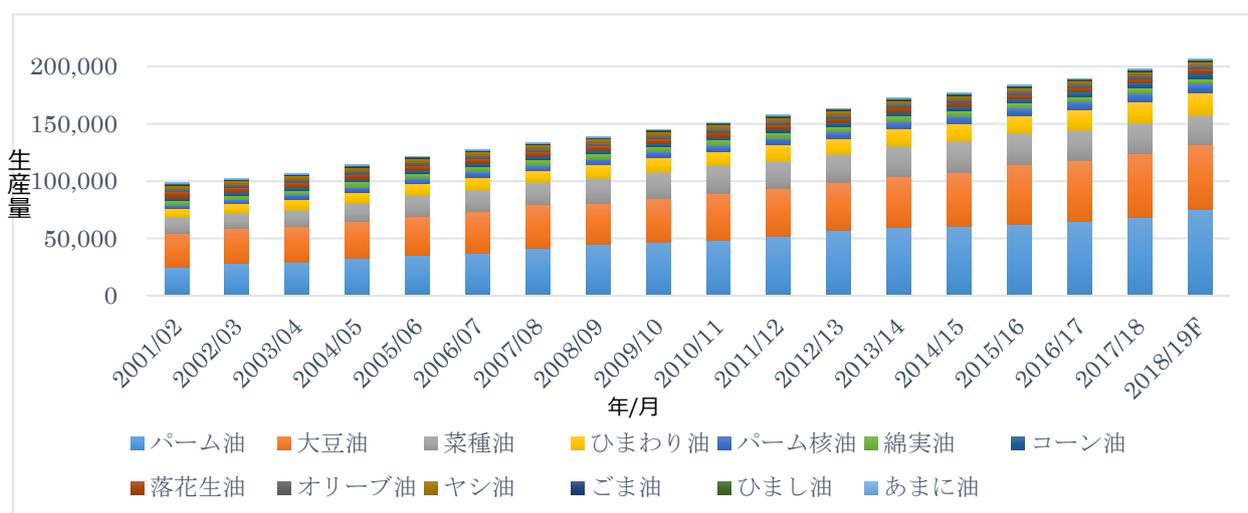


図2-2 植物油脂の消費量の推移（単位：1,000 t）

生産量から消費量を引いた需給ギャップは、期首在庫を加味すると、確認が取れる2013/14年以降はいずれの油脂もプラスとなっており、どの油脂においても需要を満たしている

いえる。

生産量比率の変化は 2001/02 年と 2018/19F 年を対比した図 2 - 3 の通り、大きく変化している。2001/02 年では大豆油が最も生産量比率の高い油脂であったが、2004/05 年にパーム油が大豆油の生産量を上回り、それ以降も大幅に伸びてきた。2018/19F 年ではパーム油の生産量比率は 37% まで上がり、パーム核油も含めれば世界の植物油脂生産量の約 4 割を占めている。

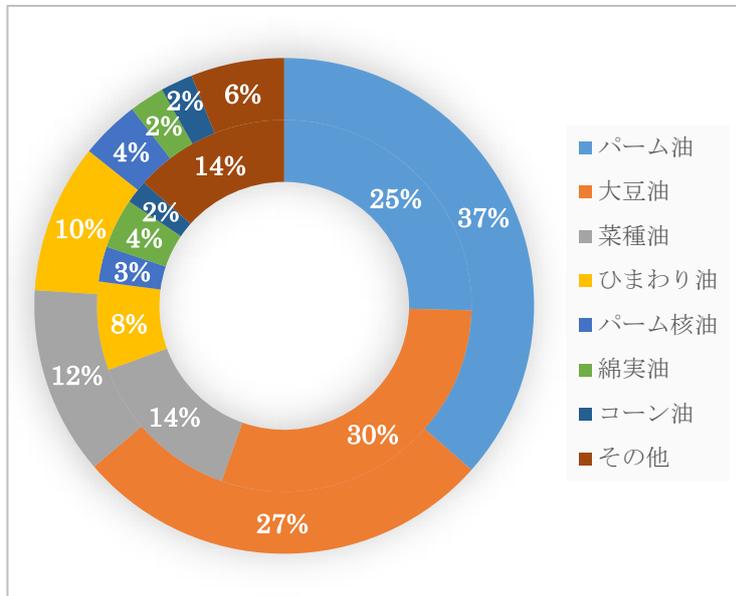


図 2 - 3 植物油脂の生産量比率の変化  
(内側：2001/02 年、外側：2018/19F 年)

生産量の変化では、図 2 - 4 の通り、主要油脂はいずれも世界の需要に合わせて生産量を拡大してきた。特筆すべきはパーム油であり、2001/02 年～2018/19F 年の間で大豆油やなたね油の生産量がそれぞれ 1.9 倍、1.8 倍に増えたのに対し、パーム油はこれらをさらに上回る 3 倍にまで増えている。

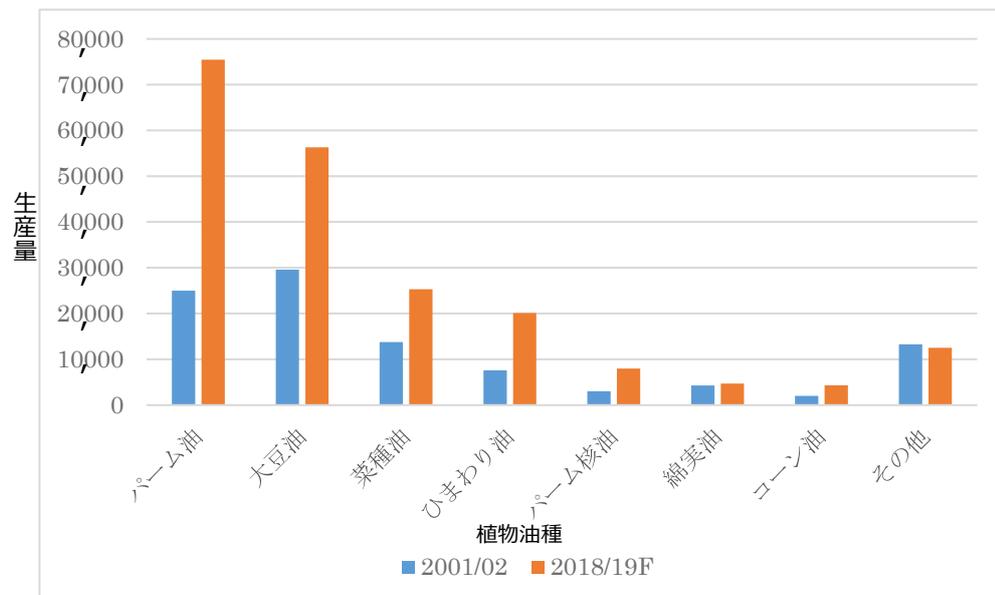


図 2 - 4 植物油脂の生産量の変化 (単位：1,000 t)

パーム油の生産量比率は 図 2 - 5 の通り、インドネシアで 57%、マレーシアで 27%となっており、この 2 か国で 8 割以上を占めている。一方、パーム油の国別生産量の推移（図 2 - 6）では、パーム油の最大生産国であるインドネシアは、他国と異なり生産量を伸ばし続けており、今後も拡大が見込まれる。

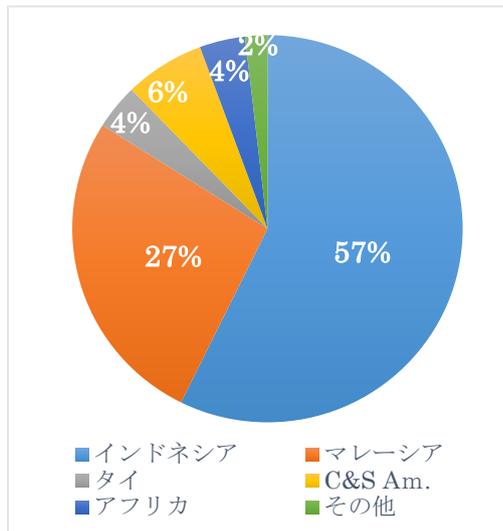


図 2 - 5 パーム油の生産量比率 (2018/19F 年)

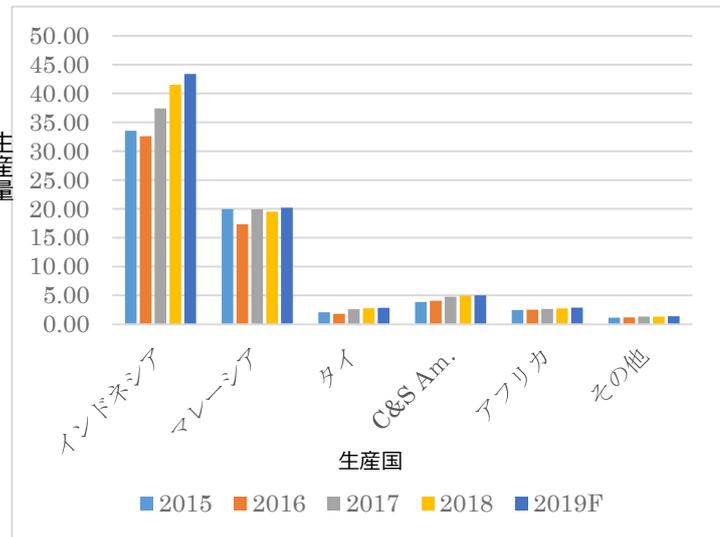


図 2 - 6 パーム油の国別生産量の推移 (単位：百万 t)

植物油消費の国・地域別比率は図 2 - 7 の通り、2001/02 年から 2018/19F 年まで消費比率の高い主要国の顔ぶれに大きな変化はないが、その数値は大きく変化している。2001/02 年ではその他の国・地域が世界の油脂消費比率の半分を占めており、主要消費国である中国、EU、インド、アメリカの総消費比率は 35%であった。しかし、2018/19F 年では同国・地域のみで 50%を占めるまで増加しており、特に人口が多く、急速な経済発展を遂げてきた中国、インド、インドネシアの上昇が目立つ。

消費比率が下がっている国であっても、世界の油脂消費量自体は約 2 倍に増加しているため、消費量が減っているとは言えないが、世界で消費される油脂の地理的バランスが大きく変わり、特定の国・地域への偏りが大きくなっているといえる。

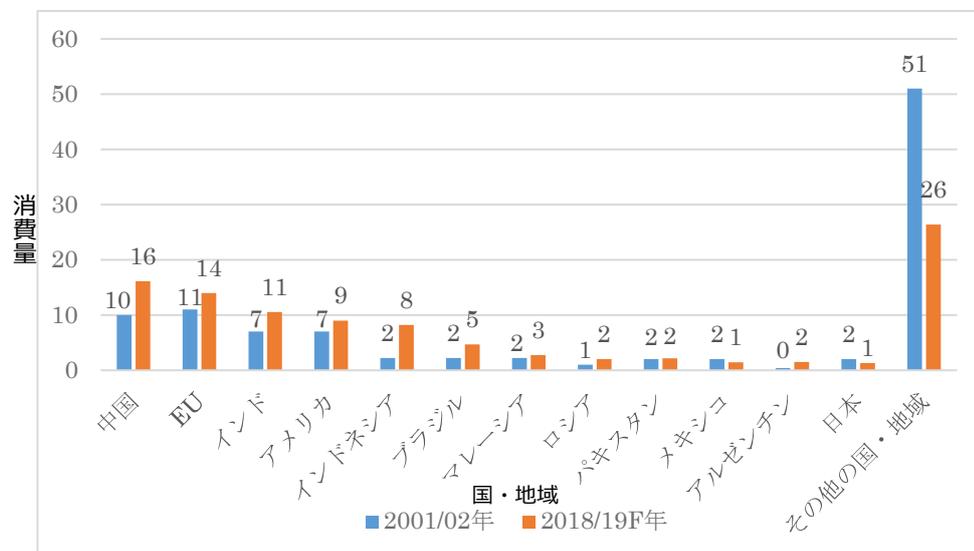


図 2 - 7 植物油脂消費の国・地域別比率の変化

- ・総消費量は、2001/02 年 97,402 千 t、2018/19F 年 204,856 千 t
- ・工業利用が多いあまに油、ひまし油を除く 11 種の植物油脂

## 2 - 2 世界の油脂需要予測

これまでに述べた通り、世界の植物油脂生産量の 7 割はパーム油、大豆油、なたね油が占めており、これら 3 種の油脂の安定的な調達、持続可能な油脂原料の獲得に欠かせないと考えられる。

植物油脂生産量の約 4 割を占めるパーム油の用途は広く、食用では、即席麺、スナックフライ、調理油、チョコレート、マーガリン、ショートニング、など多用途に利用されている他、石鹼・洗剤類をはじめとした化学品や、バイオディーゼル等、多様な形態で利用されており、これらの需要拡大を支えている。こうした需要がインド、EU、中国などが中心に各国に広がっているのに対して、生産は実質的にはインドネシアとマレーシアの 2 か国がブランチーション形式で生産国の国内需要をはるかに超える生産量を実現しており、その大部分を輸出に振り向けているのが現状である。

大豆油は食用として、天ぷらなどの揚げ油、マヨネーズやドレッシングの原料として活用され、また水素添加により硬化させてマーガリンやショートニングなどにも利用されている。用途は食用に止まらず、工業用としても、ペイント、ワニス、印刷インキなどにも用いられている。また、エポキシ化することで可塑剤やアルキッド樹脂になり、さらに、近年ではディーゼルエンジン用の代替バイオ燃料としても需要が拡大している。

なたね油は食用油の他に、潤滑油、切削油、焼入油などに用いられており、カナダの他 EU 諸国や中国などでの生産が多い。中国での経済成長に伴う健康志向の高まりや EU 諸国でここ数年拡大するバイオディーゼル向けになたね油の需要が増加している。

図 2 - 8 に示すように、世界の将来推計人口は、2050 年には世界人口が 97.7 億人に達すると予測されており、それに伴って植物油脂の需要も拡大し続けるものと考えられる。

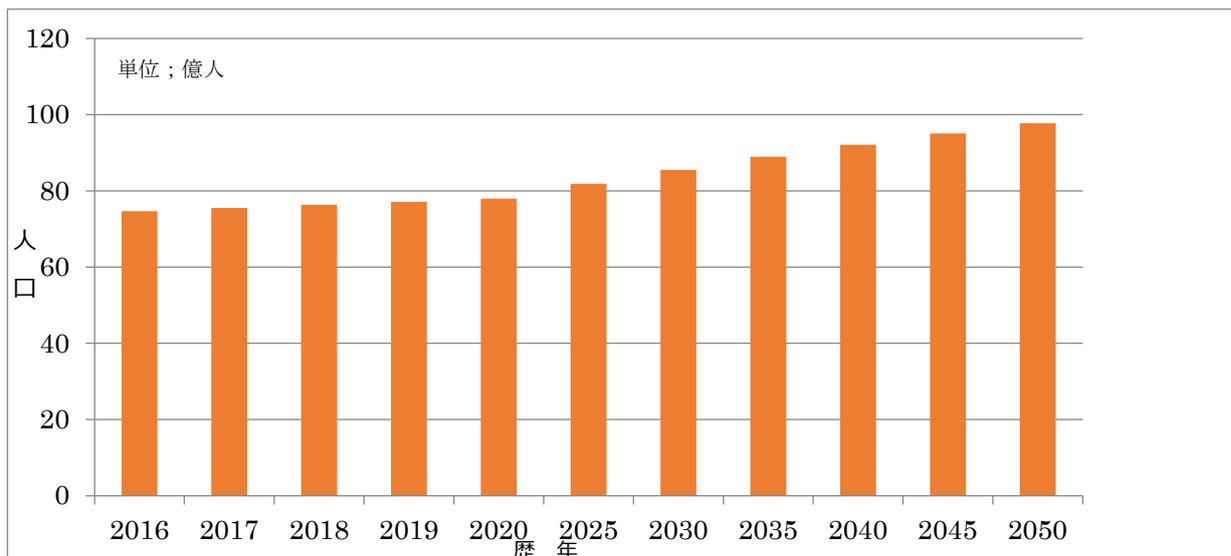


図 2 - 8 世界人口の推移 (2016 年~2050 年) ※01)

また、図 2 - 9 に示す植物油消費量予測にまとめられた通り、植物油脂の消費量は 2028 年には、約 2 億 4,000 万 t になるとされている。油脂別で見るとパーム油が約 8,400 万 t、

大豆油が約7,000万t、その他油脂が8,600万tと予想されている。

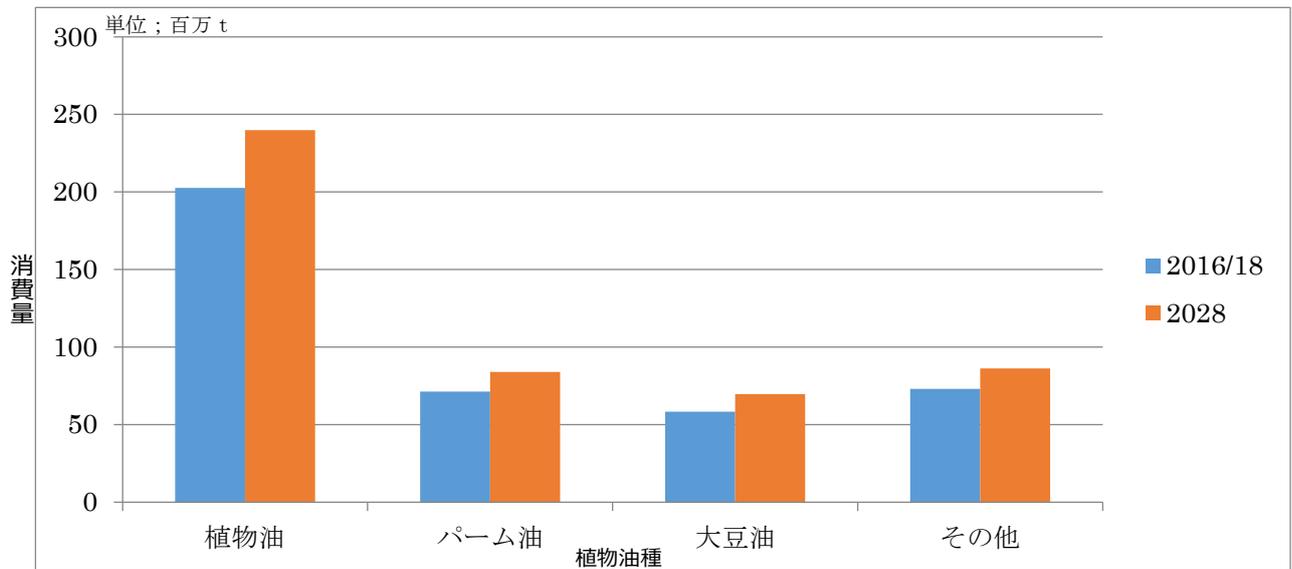


図2-9 植物油消費量予測<sup>※02)</sup>

また図2-10に示す通り、今後10年間の植物油脂の消費量予測に応じて、生産量が伸長するため、供給不足にはならない見通しではあるが、供給確保のための課題やリスクは多く、その内容や対策については後述する。

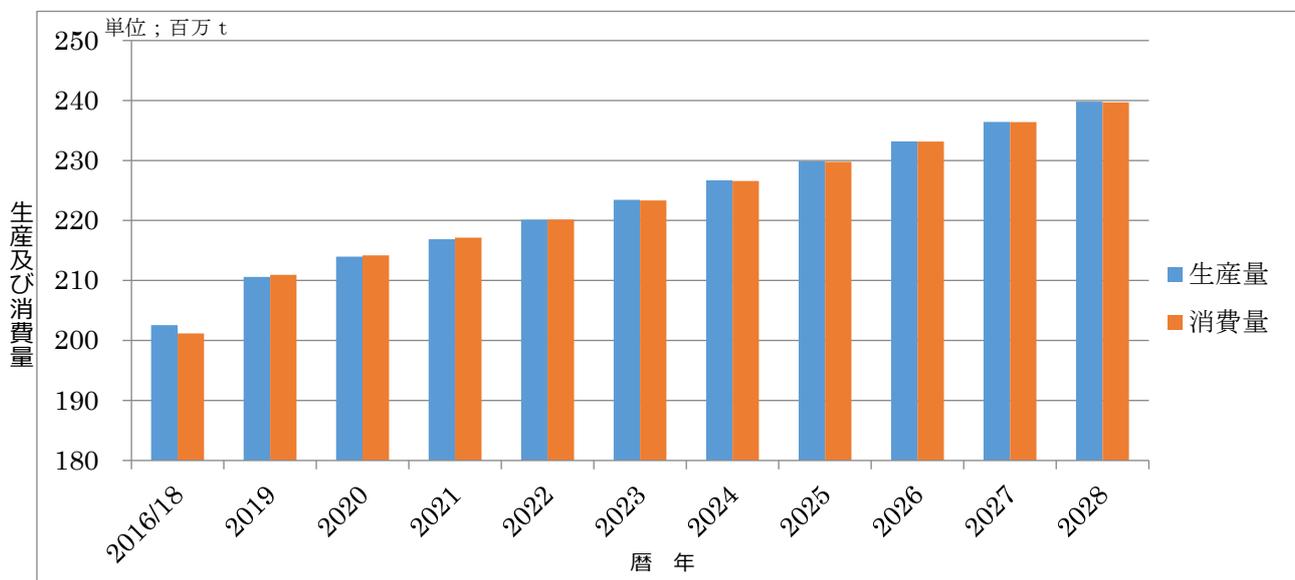


図2-10 植物油脂の年別生産量および消費量予測<sup>※02)</sup>

## 第3章 気候変動および異常気象に対して油脂産業が抱える課題

### 3-1 気候変動および異常気象の定義

地球上で起こる様々な大気現象は太陽から受け取ったエネルギーを源としている。地球が太陽から受け取ったエネルギーは、大気圏だけではなく、様々な形態を取りながら、海洋・陸地・雪氷・生物圏の間で相互にやりとりされて、最終的には赤外放射として宇宙空間に戻され、ほぼ安定した地球のエネルギー収支が維持されている。このようなエネルギーの流れに関与する地球の全システムを気候系と呼び、また大気の状態を気候と呼ぶ。「気候変動」は気候が様々な要因により、多様な時間スケールで変動することをいう。<sup>※03)</sup>

一方、「異常気象」世界気象機関(WMO: World Meteorological Organization)の定義では、30年に1回起きるような極地、つまり気温ならば30年に1回起きるような高温や低温を異常気象という。雨ならば30年に1回起きるような大雨や強い雨を異常気象という。逆に、連続した無降水日数が30年に1回起きたらば異常気象である。風速でも、積雪でも同じである。日本の気象庁もこの定義に従い、気温や降水量などの異常を判断する場合、原則として「ある場所(地域)・ある時期(週、月、季節)において30年に1回以下で発生する現象」を異常気象としている。<sup>※04,05)</sup>

### 3-2 気候変動および異常気象のメカニズム

気候変動の要因には自然の要因と人為的な要因がある。自然の要因には大気自身に内在するものの他、海洋の変動、火山の噴火によるエアロゾル(大気中の微粒子)の増加、太陽活動の変化などがある。特に、地球表面の7割を占める海洋は、大気との間で海面を通して熱や水蒸気などを交換しており、海流や海面水温などの変動は大気の運動に大きな影響を及ぼす。一方、人為的な要因には人間活動に伴う二酸化炭素などの温室効果気体の増加やエアロゾルの増加、森林破壊などがある。二酸化炭素などの温室効果気体の増加は、地上気温を上昇させ、森林破壊などの植生の変化は水の循環や地球表面の日射の反射量に影響を及ぼす。

IPCC(国連気候変動に関する政府間パネル: Intergovernmental Panel on Climate Change)第4次評価報告書によれば、温室効果ガス別の地球温暖化への寄与は、二酸化炭素76.7%、メタン14.3%、一酸化二窒素7.9%、オゾン層破壊物質でもあるフロン類(CFCs、HCFCs)1.1%、となっている。石油や石炭など化石燃料の消費によって排出される二酸化炭素の増加が最大の温暖化の原因と言え、人為的な要因による気候変動に対する関心が強まっている。

<sup>※03・06)</sup>

### 3-3 気候変動および異常気象が油脂業界にもたらす影響

#### 3-3-1 世界平均地球気温の上昇<sup>※07)</sup>

IPCC第5次報告書によると、陸域と海上を合わせた世界平均地上気温は、図3-1に示すように、1880年から2012年の期間に0.85℃上昇し、地球の表面では、最近30年の各10年間はいずれも、1850年以降の各々に先立つどの10年間よりも高温であり続けたとされている。

地域的な変化傾向の計算が十分揃う最も長い期間(1901年から2012年)では、図3-2に示す通り、ほとんど地球全体で地上気温の上昇が起きている。

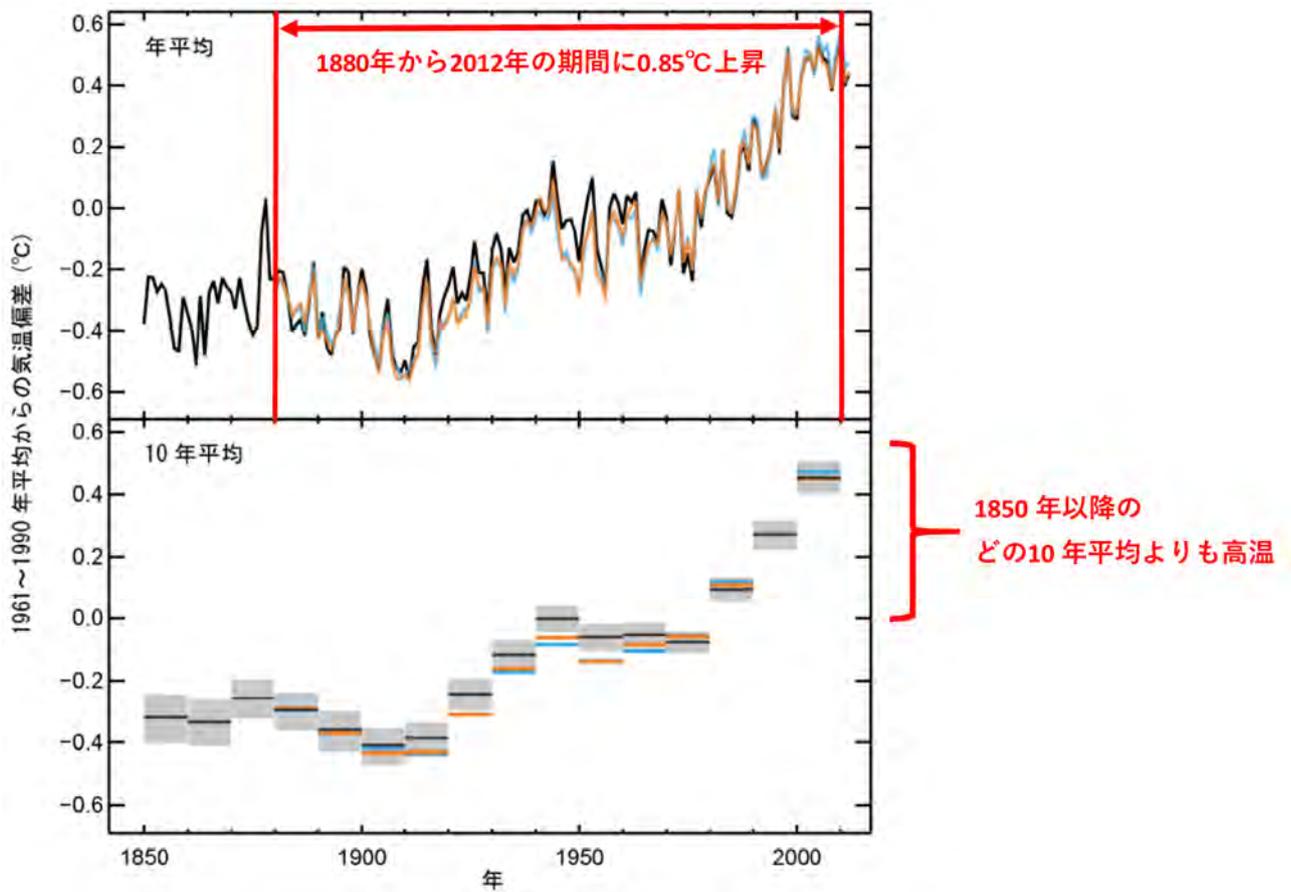


図3-1 観測された世界平均地上気温（陸域+海上）の偏差（1850～2012年）※08)

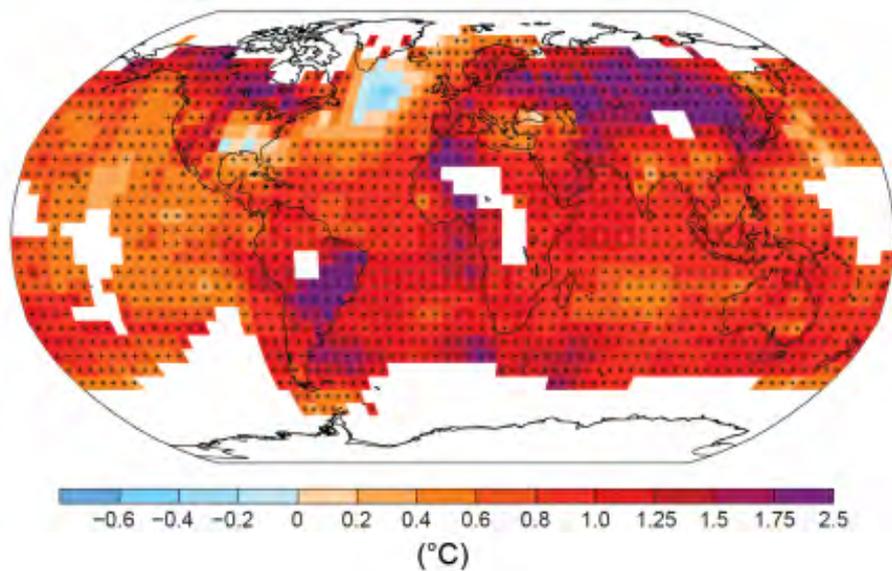


図3-2 観測された地上気温の変化（1850～2012年）※08)

### 3-3-2 世界降水量の上昇

気温の上昇だけでなく、世界各地の降水量も変化している。図3-3に示す通り、1901年以降、北半球中緯度の陸域平均では降水量が増加し、西アフリカやオーストラリア南東部では降水量が減少しているが1951年以降はその傾向がより顕著である。<sup>※07)</sup>

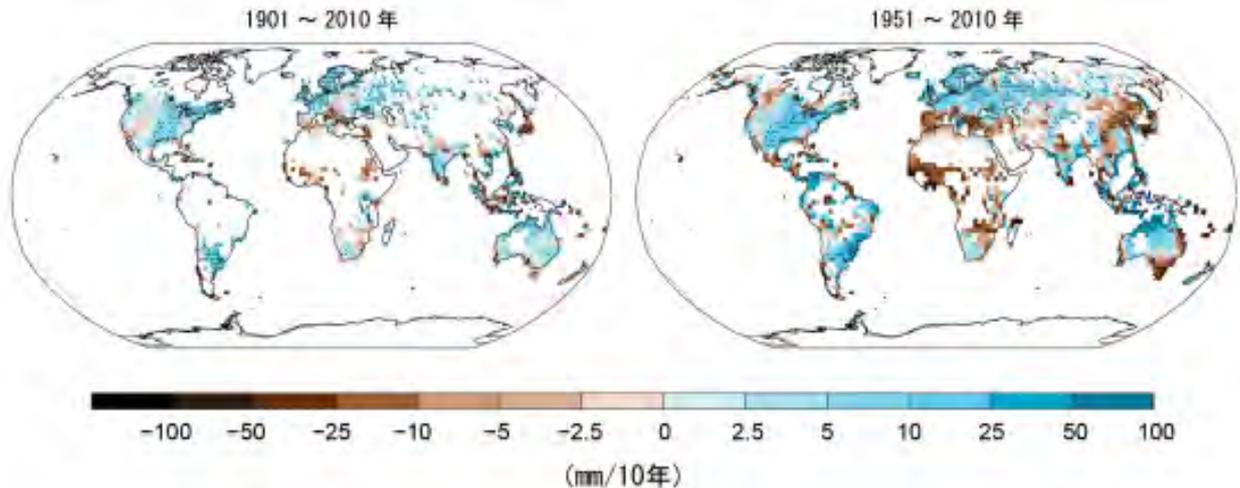


図3-3 観測された陸域の年降水量の変化<sup>※09)</sup>

### 3-3-3 世界の天候・異常気象

1950年頃以降、多くの極端な気象及び気候現象の変化が観測されてきた。

IPCC第5次報告書<sup>※07)</sup>では、

- ①世界規模で、寒い日や寒い夜の日数が減少し、暑い日や暑い夜の日数が増加している可能性が非常に高い
- ②ヨーロッパ、アジア、オーストラリアの大部分で熱波の頻度が増加している可能性が高い
- ③陸域での強い降水現象の回数が増加している地域は、減少している地域よりも多い可能性が高い
- ④強い降水現象の頻度もしくは強度は、北アメリカとヨーロッパで増加している可能性が高いとされている。

2018年の気候では、図3-4に示すように、北半球の夏を中心に世界各地で異常高温が発生した。

特にヨーロッパや東アジア、米国南西部などでは記録的な高温となった。東日本～西日本（6～7月）、インド（6～9月）、ナイジェリア（7～9月）、東アフリカ北部～中部（3～5月）では大雨による多数の死者を伴う災害が発生し、アルゼンチン北部及びその周辺（1～3月）、オーストラリア南東部（1～9月）では干ばつによる農業への深刻な被害が伝えられた。

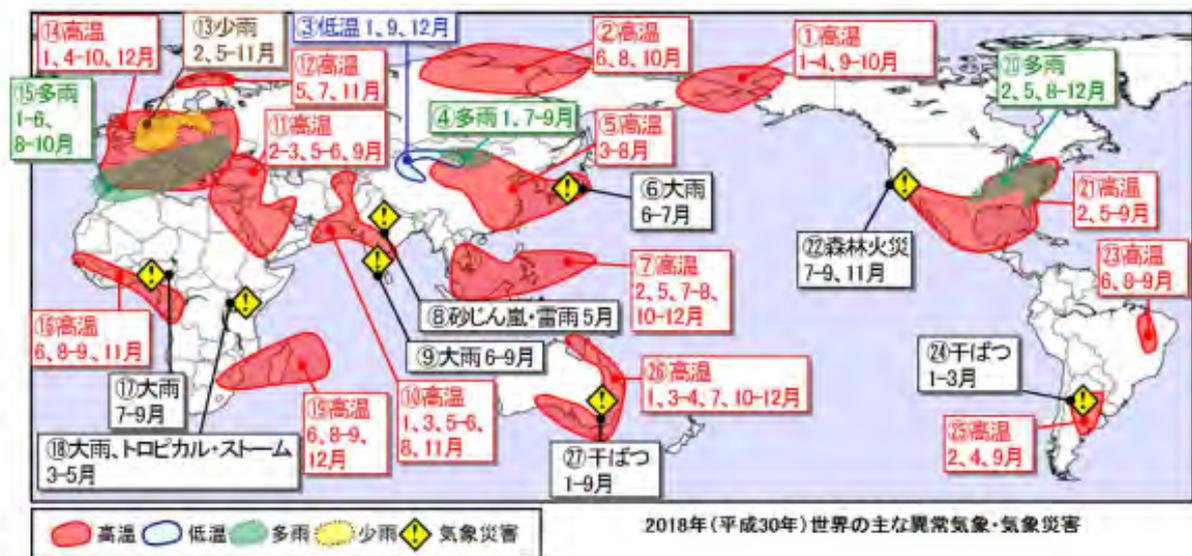


図3-4 2018年世界の主な異常気象・気象災害※10)

### 3-3-4 気象変動および異常気象が油脂業界にもたらす影響

温暖化による気候変動および異常気象は油脂原料原産地へも影響を及ぼしている。IPCC第5次評価報告書では、世界の平均気温は1.5℃又は2℃上昇するという気候変動シナリオが発表されている。パームの主要原産地であるスマトラ島では20年間で約0.5℃の温度上昇が確認されている。

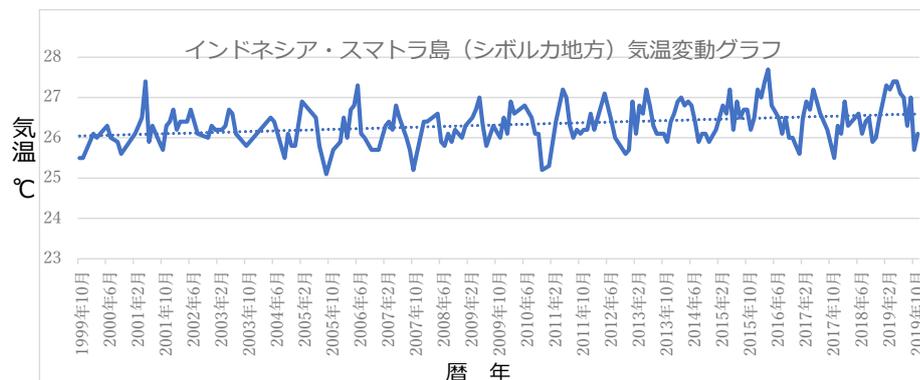


図3-5 インドネシア・スマトラ島気温変動グラフ※11)

今後2030年までに世界人口は85億人まで増加することが予測されており、油脂業界としては増加する需要に対して持続的に供給を確保しなくてはならないが、気候変動の影響により油脂原料原産地で異常気象が発生すると異常降雨、干ばつ、洪水、台風等で油脂原料の収穫に大きな被害が発生し、油脂業界へ油脂原料の供給不足や市場相場の高騰など大きなリスクとして影響を及ぼす。気候変動は進んでおり、油脂原料原産地で異常気象が発生するリスクは年々拡大している。

気候変動の人為的要因としては温暖化ガスの増加が挙げられる。温暖化ガス増加の内訳は、前3-2項に記載した通り、人類の経済活動に伴う二酸化炭素、家畜から放出されるメタン、その他一酸化炭素等となっている。二酸化炭素の排出要因は約65%が化石燃料の使用によるものであるが、人為的開墾による森林開発や山火事も約11%を占めている。

森林開発や山火事は、油脂原料原産地で発生しており、特にパームと大豆の生産地である、東南アジアと南アメリカアマゾン川流域では急速に拡大している。

今後も持続的に油脂原料を供給確保するためには安定した気候、肥沃な農地、農民、水資源の確保が絶対的に必要である。その為には世界の気象変動及び異常気象の一因でもある東南アジアとアマゾン川流域で起こっている人為的開墾に伴う環境問題への対応が必須である。

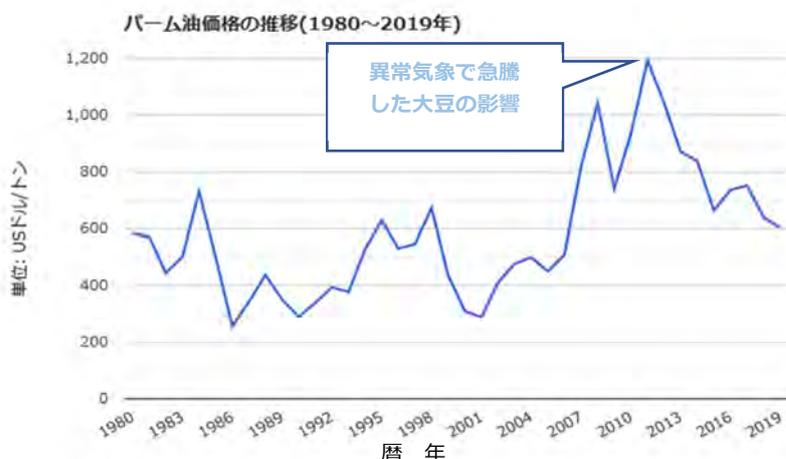


図3-6 パーム油価格の推移※12)

### 3-3-5 主力油脂原料が抱える環境問題

#### ① パーム栽培における森林破壊と泥炭開発問題

パーム油は他の食用油に比べ単位面積あたりの収穫量が5倍以上もあり、東南アジアを中心に実の部分は一般家庭向けの食料品原料として、種(核)の部分は化粧品原料製造用等工業用基剤の原料など多岐にわたり各分野で原料として利用されている。パームの世界消費量は第2章に記載の通り、2018/2019F年時点で7,765万tとなっている。

原産国はインドネシアとマレーシアが主力である。特にインドネシアにおいてはパーム耕作地が2008年約700万haであったのが、2017年には1,200万haまで急速に拡大している。両国においてパーム油産業は一大主要産業であり、インドネシアでは生産量が4,000万t以上にも達し、今後も増産を計画している。

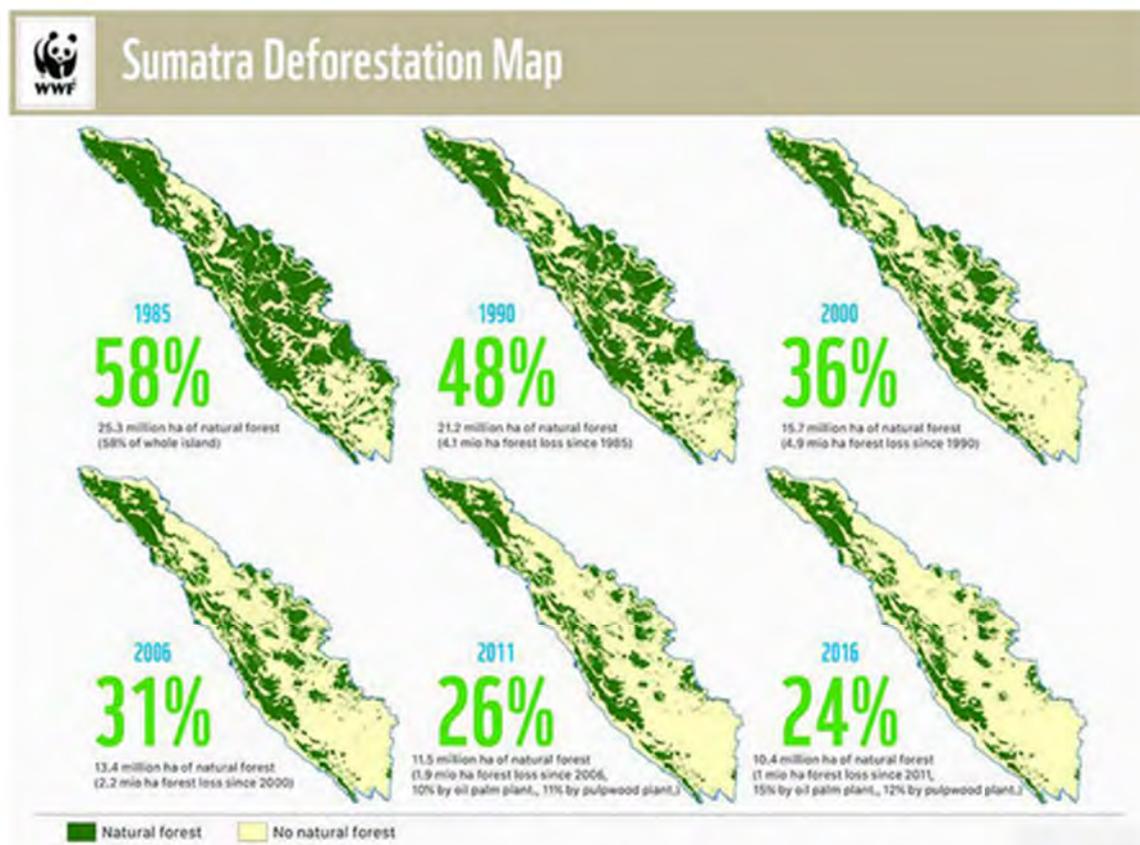
インドネシアとマレーシアではパーム需要の増加に伴い供給を確保するため農園開発が急速に進んだが、無秩序に農園を拡大したことで深刻な環境問題に直面している。

具体的には、インドネシアとマレーシアで発生している農地開発に伴う熱帯雨林の森林破壊と泥炭地開発である。インドネシア・スマトラ島では、1985年以降30年間で農地転換のため約6割の森林が伐採により消滅している。森林破壊は水の循環や生態系を破壊するだけでなく、二酸化炭素吸収源を消失することで温室効果ガス増加にも多大に影響している。また、農地転換のため野焼きで泥炭地が燃やされると地中の二酸化炭素が大気中に放出される。インドネシアとマレーシアでの農地開発は、相乗的に温暖化ガスの増加を進めている状況といえる。

そこで、WWF(世界自然保護基金: World Wide Fund for Nature)などの環境保護団体はインドネシアとマレーシアにおける環境問題に対し強く警告を発しており、両国ではプランテーションの開発に規制を設け管理された開発を進めようとしている。但し、プランテーションを運営する大規模農家に比べ、農園の内4割を占め、200万人以上いるといわれる小規模農家の管理は進んでいない。原因として原産地におけるサプライチェーンが複雑に入り組

んでいるので、政府や関係団体が生産品を全て管理・監視できていない状況がある。小規模農家は国庫からの借入ができず管理された農園運営が困難なために、手つかずの国有林を伐採し無秩序にパーム畑を開墾し続けている。不法な活動を政府や関係団体が管理できないことが環境破壊を抑制できない最大の要因である。

こうした事態を受け輸入国にも動きがでてきている。主要な輸入先であるEUではパーム増産による環境被害により先住民やオラウータンが住む土地が無くなったとして環境キャンペーンが展開され、イメージの悪化により需要低迷を招く事態となっている。同時に2018年欧州議会はバイオ燃料へのパーム油使用を禁止する方向へ動きだした。



スマトラ島は日本よりも1.25倍大きな島。30年前と比較すると、森は半分以下に減少、低地の森はほぼなくなっている。

図3-7 スマトラ島森林資源減少マップ<sup>※13)</sup>

## ②大豆栽培におけるアマゾン川流域開発問題

大豆の主要原産地はアメリカ、ブラジル、アルゼンチン等北・南米地域であり世界の生産量の8割以上を占めている。

大豆の世界での生産量は2017年時点で約3億tとなっており、人口の増加と供に年々拡大している。主な輸入国としては、中国が6割を占めており経済成長と供に輸入量が拡大している。

## 2016年以降、南米での天候不順から上昇



図3-8 大豆価格の推移<sup>※14)</sup>

近年は南米での生産が伸びており、ブラジルではここ30年で穀物生産が急速に拡大し、大豆の生産量及び耕作面積は3倍以上に伸びている。大豆の相場は北南米における気候変動や異常気象の影響を受けることが多く、豪雨・洪水、干ばつ、高温・乾燥が原因となり数年に一度急激な価格変動に繋がっている。

現在問題になっているのがブラジル、アルゼンチンに跨る広大なアマゾン川流域の開発でアマゾン開発の発端は牧畜による牧草地を穀物栽培へ転換したものがはじまりである。牧畜の拡大により牧草地が必要となり、アマゾンは牧草地用として開墾が開始される。牧草地は使用された後次の土地へ家畜は移動し放置されるケースが増大、そこで放置された土地を開墾し大豆栽培がはじまる。また土壌の酸性度と有毒なアルミニウムの濃度が高いセラードを土壌改良するなど技術開発とともに広がりを見せる。しかし、大豆栽培が国家事業として確立すると急速に農地開発が拡大進行し、牧草地跡地や開墾不適合な土地の開発だけに留まらず、森林を焼いて開墾を進め、農薬による水の汚染などアマゾン川流域は急速に環境汚染が進行する。今後30年以内でアマゾンの森林の25%以上が、50年以内には40%弱が喪失しかねない事態となっている。ブラジルは世界各国や環境団体の批判を受けながらも、国策としてアマゾン川流域を開発し継続している。

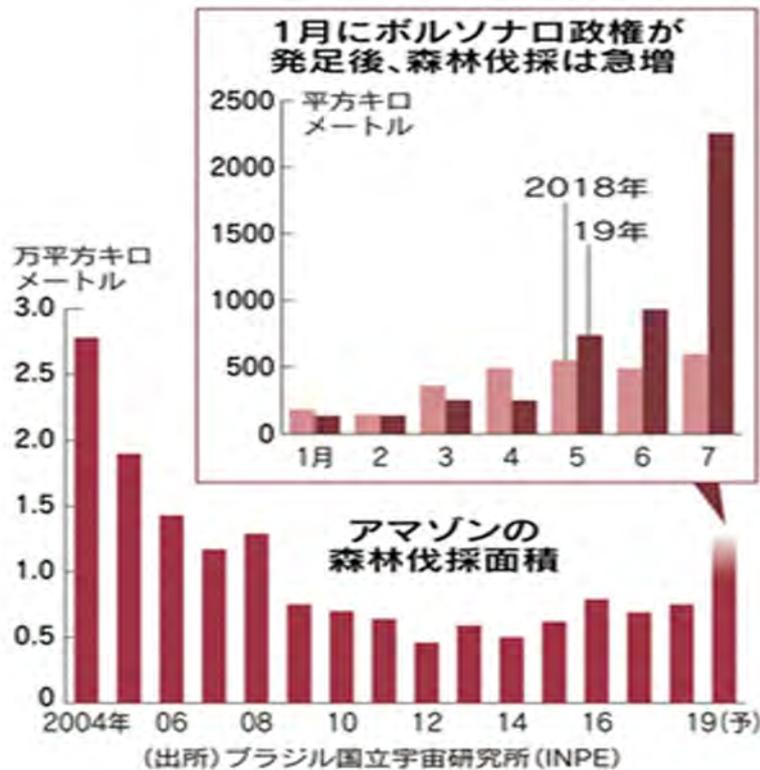


図3-9 アマゾン森林伐採推移グラフ<sup>※15)</sup>

### 3-3-6 油脂調達と環境保全の両立

持続可能な油脂調達には永続的な農地確保が必要であるが、農地確保のために環境破壊を伴う農地開発を進めることは、気候変動や異常気象の要因を拡大することになり、その影響が農地を減少させるという逆の結果をもたらすことに繋がる。

もちろん前述の通り農地開発は温暖化をもたらす二酸化炭素増加の限られた一因に過ぎないが、持続可能な油脂調達を達成するためには、気候変動に対し、適応・緩和できる施策と併に対応して行かなければならない。しかしながら、開発される新技術は高額な費用負担となるために、パーム油を下支えている小規模農家や国策としてアマゾン川流域開発を進めているブラジルの大豆農家が採用するとは考えにくい。現状と変わらず森林伐採、泥炭開発や農薬による水質汚染等環境を破壊してまでも農地を確保し、油脂原料を供給する流れは今後も継続すると予測される。増加する人口は油脂原料の更なる供給を望み、世界経済は望まれるだけの油脂を用意する。世界には未開発な土地はまだ存在するからである。そしてそれは貧しい国に存在している。供給されているという事実は原産国で起きている環境問題に目をむける機会を限定し、無秩序な開墾は一部の関心ある人にしか関係ないのかもしれない。

一方で2020年1月21日に開かれた世界フォーラム年次総会に先立ち発行された「グローバルリスク調査報告書2020年度版」では、世界の政財界のリーダー750人の回答で発生可能性リスク1位～5位、影響度は5位までに3つが環境リスクとなった。世界のリーダー達も軍事、経済の前に環境問題に向き合わなくてはならない時代となった。

表3-1 グローバルリスク報告書 リスク評価上位表※16)

▼発生の可能性が高いリスク上位10位

・2020年度		・2018年度	
発生の可能性が高いリスク上位10位	カテゴリ	発生の可能性が高いリスク上位10位	カテゴリ
1. 異常気象	環境	1. 異常気象	環境
2. 気候変動対策の失敗	環境	2. 自然災害	環境
3. 自然災害	環境	3. サイバー攻撃	テクノロジー
4. 生物多様性の損失	環境	4. データの不正利用または窃盗	テクノロジー
5. 人為的な環境災害	環境	5. 気候変動の緩和や適応への失敗	環境
6. データの不正利用または窃盗	テクノロジー	6. 大規模な非自発的移住	社会
7. サイバー攻撃	テクノロジー	7. 人為的な環境災害	環境
8. 水危機	社会	8. デロ攻撃	地政学
9. 国家統治の失敗	地政学	9. 不正な資金の流れ	経済
10. 資産バブル	経済	10. 資産バブル	経済

▼影響が大きいリスクの上位10位

・2020年度		・2018年度	
影響が大きいリスク上位10位	カテゴリ	影響が大きいリスク上位10位	カテゴリ
1. 気候変動対策の失敗	環境	1. 大量破壊兵器	地政学
2. 大量破壊兵器	地政学	2. 異常気象	環境
3. 生物多様性の喪失	環境	3. 自然災害	環境
4. 異常気象	環境	4. 気候変動の緩和や適応への失敗	環境
5. 水危機	社会	5. 水危機	社会
6. 重要情報インフラの故障	テクノロジー	6. サイバー攻撃	テクノロジー
7. 自然災害	環境	7. 食糧危機	社会
8. サイバー攻撃	テクノロジー	8. 生物多様性の喪失、絶滅と生態系の崩壊	環境
9. 人為的な環境災害	環境	9. 大規模な非自発的移住	社会
10. 感染症	社会	10. 感染症の広がり	社会

(出典) [Global Risks Report2018](#)、[Global Risks Report2020](#) をもとにアマタ(株)が作成

### 3-4 気象変動および異常気象に対応するための課題

国際連合環境計画（UNEP：United Nations Environment Program）と国際連合の専門機関にあたる WMO により共同で IPCC が設立されている。WMO において、気候変動に関して科学的および社会的見地から包括的な評価が行われ、5～7年ごとに評価報告書を公開している。また最近では第48回 IPCC 総会（2018年10月1～6日韓国・仁川）において「1.5℃特別報告書」本体が受諾された。同報告書において、地球温暖化が現在の速度で進行し続けると2030年から2052年の間に年間平均気温が1.5℃を超えて上昇する可能性を示している。さらに、1.5℃を超えることによる極端現象の変化、陸、海域生態系、社会・経済への影響、リスク予測に関する分析やそれらを踏まえた問題提起がなされている。

#### 3-4-1 気候変動および異常気象の将来予測

IPCC 第5次評価報告書において、21世紀末までの温室効果ガスの4つの代表的な濃度経路である RCP シナリオ（Representative Concentration Pathways）を示している。地球温暖化に対する緩和と適応策の進展より影響される、熱収支（放射強制力）ごとに2.6～8.6 W/m<sup>2</sup>の計4種類のシナリオを示している。21世紀末までの気温予測についてはどのシナリオを当てはめても、温度上昇が想定され、RCP2.6 以外では1.5℃を上回る可能性が高いことが示されている。

RCP...Representative Concentration Pathways (代表濃度経路シナリオ)		
略称	シナリオ (予測) のタイプ	
 <b>RCP 2.6</b>	<b>低位安定化シナリオ</b> <small>(世紀末の放射強制力 2.6W/m<sup>2</sup>)</small> 将来の気温上昇を2℃以下に抑えるという目標のもとに開発された排出量の最も低いシナリオ	
 <b>RCP 4.5</b>	<b>中位安定化シナリオ</b> <small>(世紀末の放射強制力 4.5W/m<sup>2</sup>)</small>	
 <b>RCP 6.0</b>	<b>高位安定化シナリオ</b> <small>(世紀末の放射強制力 6.0W/m<sup>2</sup>)</small>	
 <b>RCP 8.5</b>	<b>高位参照シナリオ</b> <small>(世紀末の放射強制力 8.5W/m<sup>2</sup>)</small> 2100年における温室効果ガス排出量の最大排出量に相当するシナリオ	

図3-10 代表濃度シナリオ※17)

湿潤な季節と乾燥した季節降水量の差が増大し、また世界平均地上気温が上昇するにつれて、中緯度の陸地のほとんどと湿潤な熱帯域において極端な降水がより強く、より頻繁となる可能性が非常に高くなることが予測されている。また、21世紀の間、世界全体で海洋温度は上昇し続け、熱帯域と北半球亜熱帯域の海面においては極めて顕著に上昇するものと予測されている。

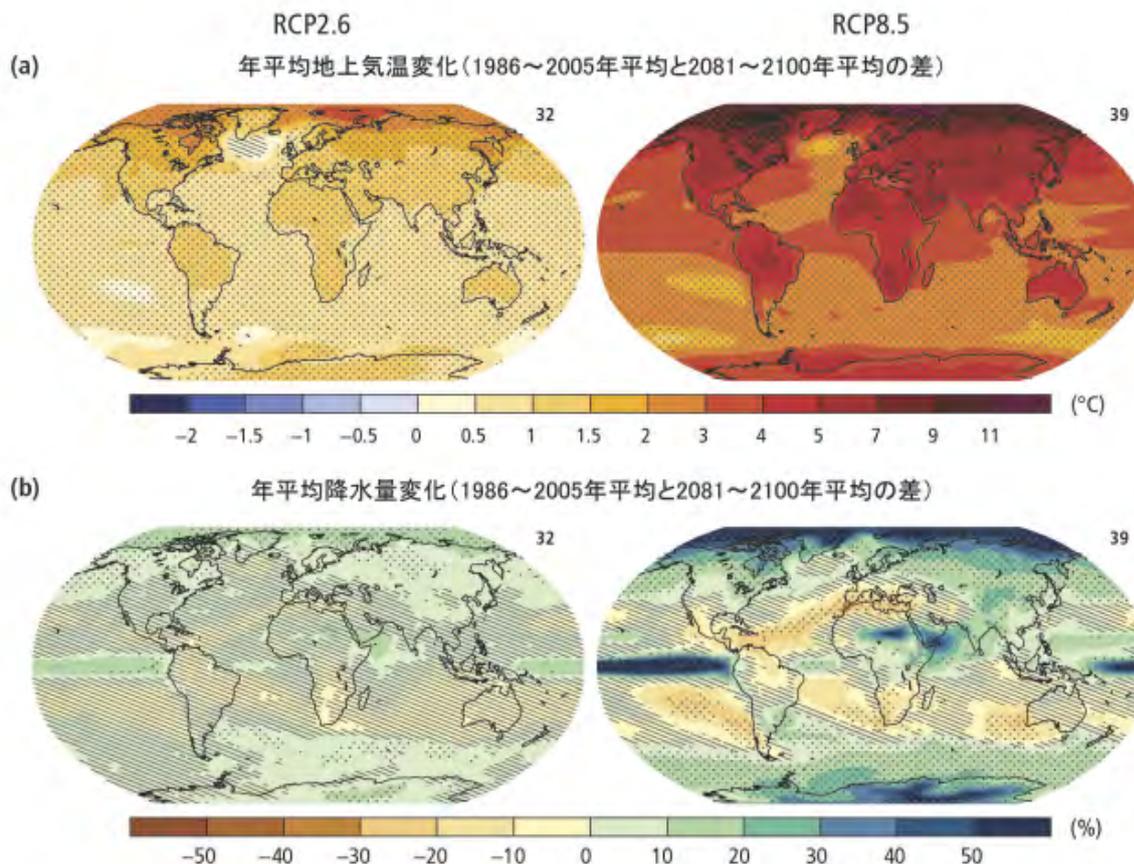


図3-1-1 (a) 年平均地上平均気温の将来予測 (b) 年平均降水量変化の将来予測 ※18)

また、エルニーニョ・南方振動と地球温暖化の関係性については Wenju Cai らの研究グループは、第5期結合モデル相互比較計画 (CMIP5 : Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) の17の気候モデルでの検討に基づき、今後の地球温暖化による太平洋東部のエルニーニョの変化を評価した。現時点 (1900~1999年) から予測された未来 (2000~2099年) までに、太平洋東部のエルニーニョによる海面水温の変動性が全体平均で15%増大したことに相当することを示している。Cai らは「強烈な」太平洋東部のエルニーニョ現象 (大規模な海面水温の異常に相当する) の発生件数が増えることを示唆しており、その結果として今後、極端な気象現象の発生件数が増えることを予想すべきだと結論付けている。 ※19)

### 3-4-2 予想されるリスク

IPCC 第5次評価報告書では「あらゆる分野及び地域にわたる主要なリスクをまとめる枠組み」として以下5つの包括的な懸念材料 (RFCs : Reasons for Concern) を掲げている。

- (1) 地域の生態系や文化などの固有性が高く脅威にさらされるシステム
- (2) 極端な気象現象
- (3) 地域的なリスクの偏在
- (4) 全球総体のリスク
- (5) 急激で不可逆的な物理システムや生態系の大規模な変化

同報告書ではこの5つの異なる観点から気候変化のリスクの程度と昇温の関係についてまとめ

ている。また、3-4-1項で示した4つの代表的な濃度経路であるRCPシナリオを参考に、将来の気候変動がもたらす影響についての試算が各分野においてなされている。

### ①食料安全保障および食料生産システムのリスク

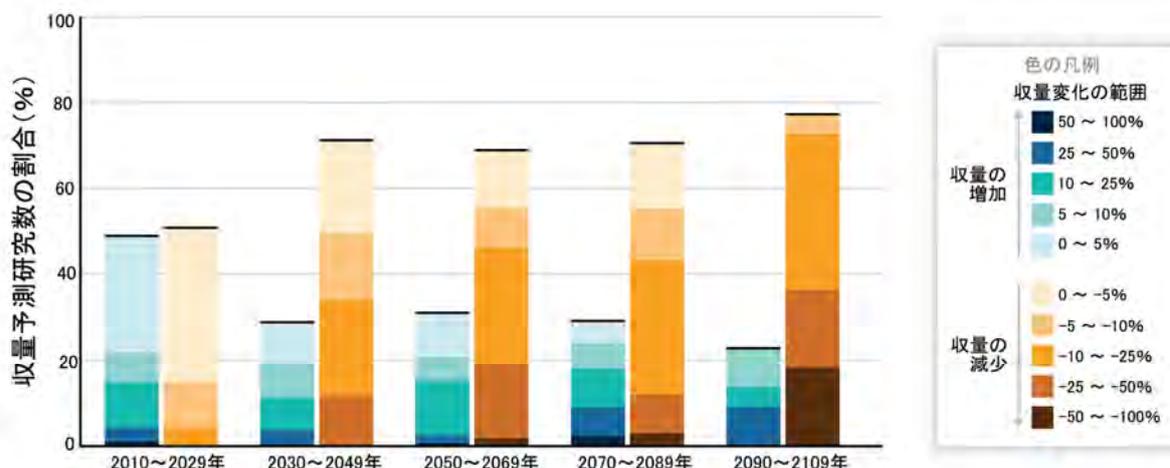


図3-12 収量予測研究数の割合※20)

21世紀の気候変動による作物収量の変化予測の図化。

図には、異なる排出シナリオ、熱帯及び温帯地域、並びに適応及び非適応ケースが組み合わされた予測が含まれている。

熱帯および温帯地域の主要作物（小麦、米、トウモロコシ）に関して適応策が施されない場合、その地域の20世紀後半時点での気温上昇が2℃又はそれ以上になると、個々の場所で便益を受ける可能性があるものの、食料生産全体では負の影響を及ぼすと予想されている。予測される影響は作物、地域、適応シナリオによって異なり、2030～2049年の期間と20世紀終盤との比較では、予測の約10%が10%以上の収量増を示し、予測の10%が25%以上の収量減を示している。2050年以降、収量に対し、より深刻に影響するリスクは増大し、これらは温暖化の水準によって異なる。

2012年（独）農業環境技術研究所はIPCCにより示された4つのRCPシナリオのもと、米国、ブラジル、中国における地球温暖化進行に伴う大豆の生産性予測を、図3-14のように発表した。温室効果ガス濃度の増加が中程度あるいは大きいシナリオでは、米国とブラジルにおいて特に大きく低下し（約30%と約50%）、また、温室効果ガス濃度の増加が大きいシナリオほど同時不作確率が高まり、約2倍になることが示された。これらの収量低下については、どの地域においても気温の上昇が主な要因となっているとの見解が示されている。

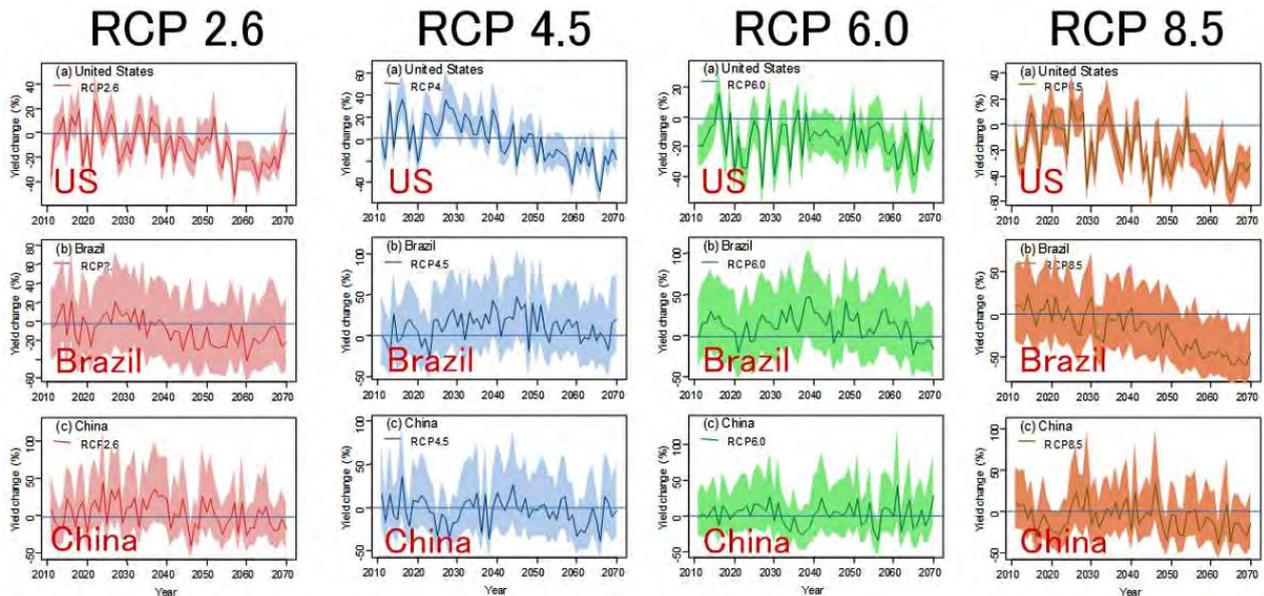


図3-13 米国、ブラジル、中国3か国のダイズ収量の将来推計 (2010年~2070年) ※21)

パーム生産についても、気候変動の影響を大きく受ける。マレーシアにおけるパーム油の収量については至適生育温度より2℃上昇し、降雨量が10%減少することで約30%低下することが予想されている。

Paterson らはIPCCが示す温室効果ガス排出シナリオについて、世界気候変動モデルを用いて、主要なパーム油生産国であるインドネシア、マレーシアにおける、気候変動に伴うパームの生育適否への影響を調査した。

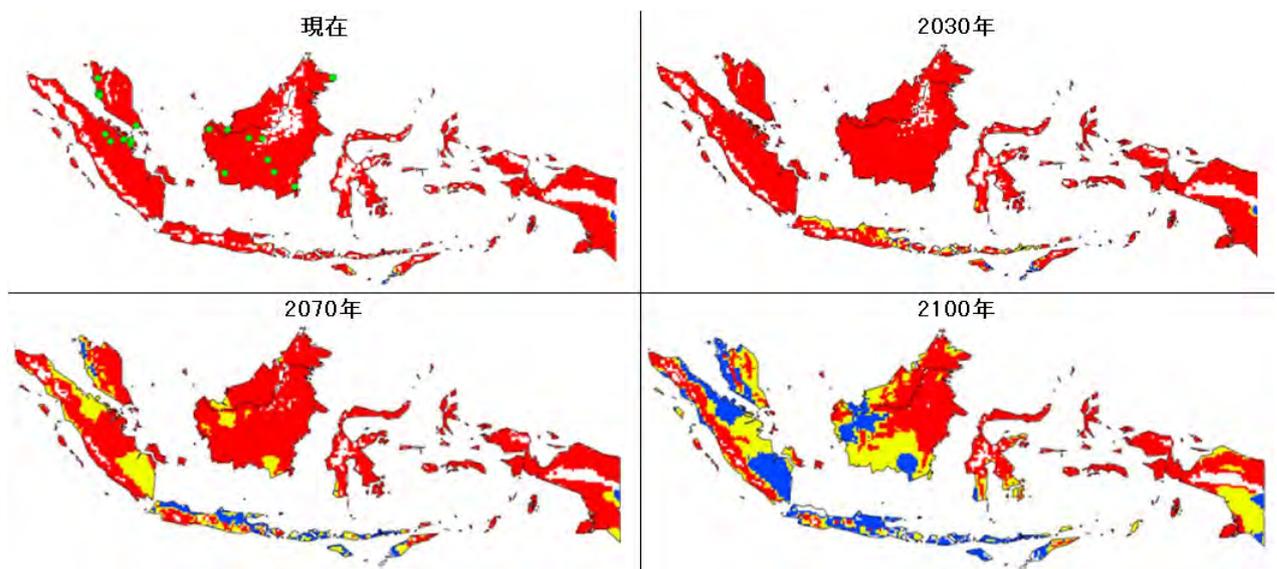


図3-14 世界気候変動モデルを用いた将来のパーム生育エリア適正評価※22)

現在はCLIMEXに、その他の将来図はCSIRO-Mk3.0に基づいて得た評価結果をマッピングしたもの。赤は非常に適当(highly suitable)、黄色は適当(suitable)、青は最低限度(marginal)、白は不適当(unsuitable)なエリアを示す。緑点は代表的なパーム農園の分布を示す。採用した排出シナリオはA1B(化石燃料とバイオマスなどの新エネルギーをバランス良く使用する経路)。

この評価結果によると2070年頃までは温暖化に伴い、パーム油生育に適した気候に対応する地域は増大していくものの、2100年時点では劇的に減少する予測がなされている。特に生育地として非常に適当な地域の減少は著しく、2015年比58%まで落ち込んでいる。また、これと同時に最低限度の地域、適当な地域についてはそれぞれ2015年比7,778%、6,785%まで増大している。

表3-2 将来のパーム生育エリアの適正別の面積内訳<sup>※23)</sup>

Scenario	Area (km <sup>2</sup> )			
	Unsuitable × 10 <sup>5</sup>	Marginal	Suitable	Highly suitable × 10 <sup>4</sup>
Current	3.32	6.12 × 10 <sup>2</sup>	7.91 × 10 <sup>3</sup>	1.79
2030	2.27	1.01 × 10 <sup>4</sup>	3.41 × 10 <sup>4</sup>	1.87
2070	1.39	5.67 × 10 <sup>4</sup>	2.74 × 10 <sup>5</sup>	1.67
2100	1.29	4.76 × 10 <sup>5</sup>	5.33 × 10 <sup>5</sup>	1.00

※数値：  
Paterson らの解析  
による4種の結果  
の平均値

以上の内容はまた、気候のみの観点からの予測であり、実際は非気候的な因子、例えば土壌の性質、地質学的な要素、生物間の相互作用などの要因からも影響を受ける。

## ②農村域のリスク

将来の農村域への主要な影響は、近い将来とそれ以降、世界全体での食料及び非食料作物の生産地域の移転など、水の利用可能性及び供給、食料安全保障、並びに農業所得への影響を通して現れると予想されている。これらの影響は、農村域における貧困層、例えば世帯主が女性である世帯や、土地、近代的な農業資材、インフラ及び教育の利用可能性が限られている世帯の厚生に不均衡な影響を及ぼすと予想される。

## ③生計と貧困のリスク

21世紀を通じ、気候変動の影響により経済成長が減速し、貧困削減がより困難となり、食料安全保障がさらに蝕まれると予測される。そして、既存の貧困の罫<sup>(注1)</sup>は長引き、新たな貧困の罫は特に都市域や新たな飢餓のホットスポット<sup>(注2)</sup>において作り出されると予測される(確信度が中程度)。多くの貧困(地域)は、将来における極端現象の頻度の増加と重複しており、インドとインドネシアでは合計5,800万人以上の住居が2050年までに海面上昇のリスクに曝され、同時にアフリカや東南アジアの貧しい国々では、大きな経済的損失(GDPの0.2-1.2%の減少)に直面すると予測されている。<sup>※18)</sup>

(注1) 貧困であるために低所得、低教育、低労働生産性であると、それが原因で悪循環に陥り、貧困から抜け出すことが出来なくなる状況。国家規模で用いられる場合は、悪循環に陥った経済が持続する低開発状態に苦しむ事故永続的な状態を指す

(注2) 気候変動に対する高い脆弱性と曝露で特徴づけられた地理的地域のこと

このように地球の温暖化が進めば、将来的な農業生産が危ぶまれるだけでなく、特に貧困にあえぐ国々で暮らす人々の生活の質のみならず、安全面まで危ぶまれる事態を招くことが予想されている。

### 3-4-3 国際社会の課題について

国際社会は適応と緩和策を「気候変動のリスクを低減し、管理するための相補的な戦略」と位置付けている。適応は気候変動影響のリスクを低減できるが、気候変動の程度次第ではその有効性には限界があるとしている。現行を上回る追加的な緩和努力、すなわち温室効果ガスの削減を現在行われているものに対して上乗せして実施なければ、世界全体の排出量増加はいつまでも続き、たとえ適応策を講じたとしても21世紀末までの温暖化が深刻で広範にわたる可能性が想定され、不可逆的な影響を世界全体にもたらすリスクは高い水準に達するとしている。

IPCCは温暖化を2℃未満に抑制する可能性のある緩和経路について、2100年時点での温室効果ガス濃度ごとに4つのシナリオを想定した。その中でも気温上昇を1.5℃未満に抑制するためには、2100年までに濃度が430 ppm CO<sub>2</sub>換算未満となり、2050年の排出削減量は、2010年の70～95%の間となるという試算がなされている。

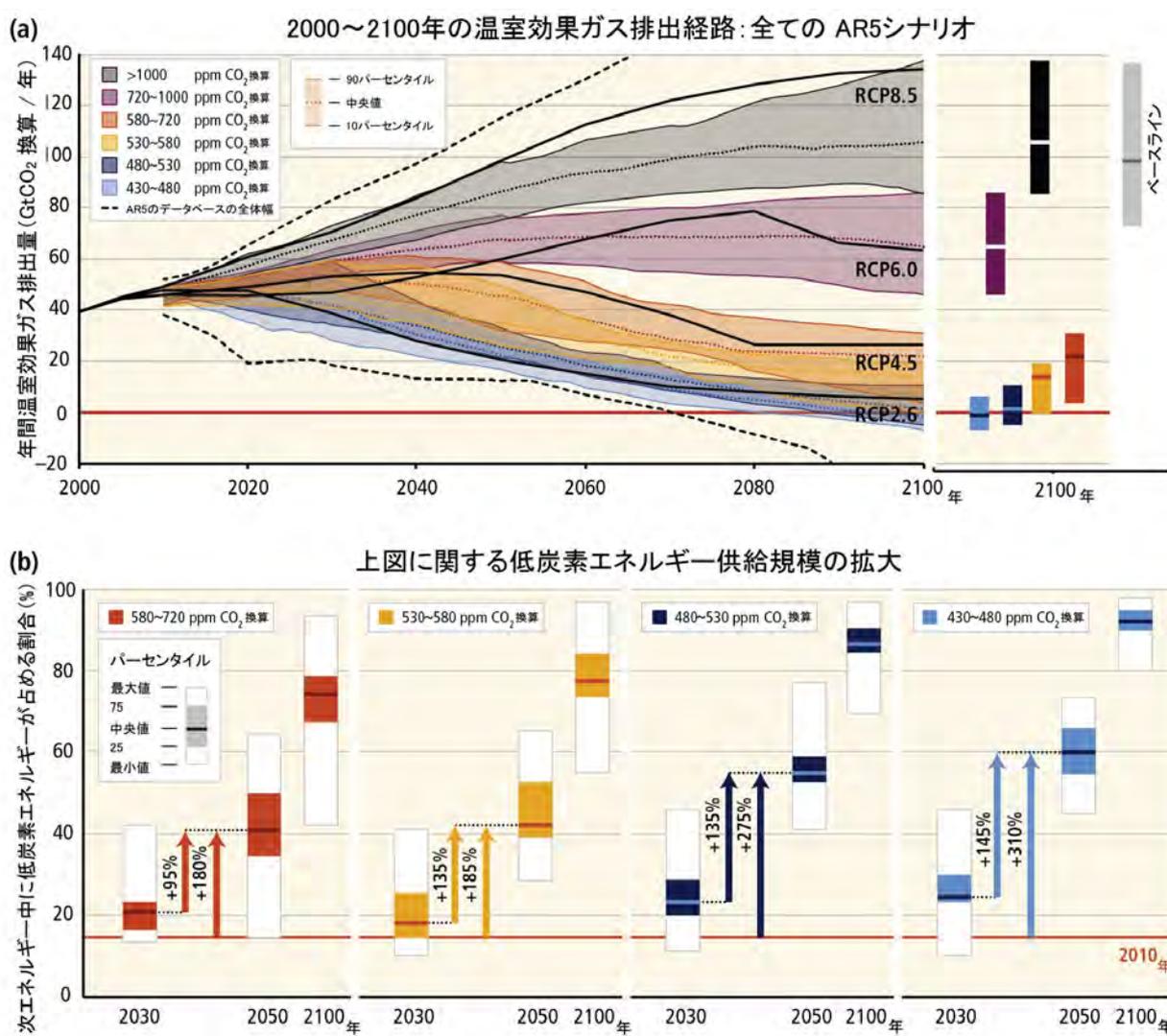


図3-15※18)

- (a) 2100年までの温室効果ガス排出経路
- (b) 低炭素エネルギーの供給規模

このためには、2050年までに、エネルギー効率のより急速な改善と、一次エネルギーに占めるゼロ炭素、低炭素エネルギー（バイオエネルギー（BECCS : Bioenergy with Carbon Capture and Storage）、二酸化炭素回収・貯留（CCS: Carbon Dioxide Capture and Storage）など）供給割合を2010年比で3倍から4倍近くまで増加させる必要があるとしている。

さらに効果的な適応および緩和には、個人から政府まで協調に加えて、国際的規模にまたがる技術、資金に関する政策的手法が不可欠である。十分な排出削減を行うには投資パターンの大きな変更が必要であり、2100年までに430～530 ppm CO<sup>2</sup> 換算の範囲に濃度を安定化させる緩和シナリオでは、主要部門（運輸、産業、建築）における低炭素発電及びエネルギー効率向上への年間投資額は、2030年以前に年間数千億ドルにまで上昇すると予測されている。

#### 3-4-4 油脂産業が取り組むべき課題について

過去数十年にわたる世界各国での工業化の進展により、地球上の温室効果ガスは増大し、気候変動や異常気象の増加が各地で観測される事態に陥っている。一方、油脂業界を取り巻く情勢に目を向ければ、人口増加の伴う食糧油脂やバイオ燃料への需要が高まる中、東南アジアのプランテーションや南米アマゾン川流域の開発などに代表される農地開墾による森林破壊を伴いながら、今日の油脂原料の供給を賄っている。しかしながら、そうした無秩序な農地開拓の推進は、気候変動に拍車をかけ、今日の油糧作物の生産および供給価格の不安定化を含めた様々な問題を生じる要因となっていると考えられる。世界から個人の単位まで、適応や緩和の取り組みがなされてきたものの、今後さらに伸び行く需要に応じるために、再び農地の拡大が継続されるという悪循環が続いているのが現状である。



図3-16 負の連鎖

以上を踏まえ、筆者らはこうした悪循環に歯止めをかけ、温室効果ガスがもたらす気候変動および異常気象リスクを見据えて、安定して油脂原料を獲得していくための方策を検討した。

そして、次の点を優先して取り組むべき課題として提案する。

- ①気候変動や異常気象を起こさないために、主要因である温室効果ガスの排出を抑制する。
- ②森林破壊や農地拡大を行わず、将来にわたり必要な生産量を確保する
- ③油糧作物に対する需要を下げることで、必要な生産量を抑える

次章では、上記課題解決に向けた国際的な取り組みと油脂業界の取り組みを紹介する。

## 第4章 持続的な油脂原料獲得のための施策

### 4-1 取り組むべき対応策

今日温室効果ガス増大にまつわる諸問題に対し、国際単位のみならず各企業単位までのあらゆるレベルでの取り組みは不可欠であり、各国や様々な企業で環境問題に対する方針が打ち出されている。そうした方針の下、各企業単位のみならず産学官共同で研究開発がなされ、中には大きな成果を上げているものも存在する。

3章において、油脂産業をとりまく悪循環に歯止めをかけ、持続的に油脂原料を獲得していくための3つの課題を提案した。我々はそうした課題解決のためには、油脂産業やそのサプライチェーンを含めた包括的な取り組みが必須であると考察した。本章では、持続可能な油脂原料獲得に向け、国際単位のみならず各企業単位までを含めた具体的な施策を紹介する。具体的には、認証制度の普及を通じて農家の利益を保護し、無秩序な農地の開拓などのリスクを低減させる取り組みや、森林や泥炭地資源の回復など各種緩和策、油糧作物の油脂生産性を高める取り組み、そして原料を食料油脂に大きく依存しているバイオ燃料向けの代替ソース確保などがあげられる。またそうした取り組みを効果的に機能させるための、ESG投資などの仕組みづくりについても紹介する。

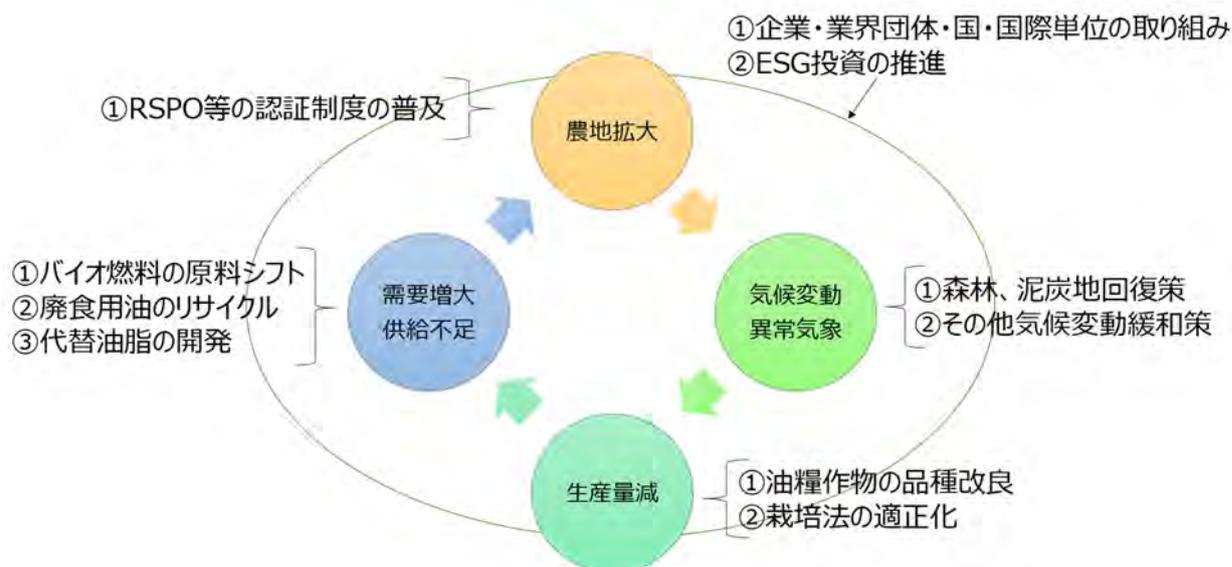


図4-1 「負の連鎖」への対応策

### 4-2 油脂調達を通じた気候変動の緩和策

#### 4-2-1 認証油の調達

人口の増加に伴い増加する油脂需要に応えるため、油糧作物の生産エリア開発が進み、森林破壊による温室効果ガスの増加や生物多様性への悪影響が大きく問題視されている。同時に、農園や搾油の現場での劣悪な労働環境、児童労働、不当な低賃金など人権侵害への指摘も強まっている。とりわけ植物油の中で生産量・消費量ともに世界トップのパーム油への関心・懸念はとても強く、持続可能な社会の実現に向けて効果的な取り組みが求められている。パーム油をはじめ油脂原料のほとんどを輸入に頼っている我々としても、持続可能な調達を実現するため、現状をしっかりと認識し自ら率先して問題解決に取り組む責任がある。また持続可能なパーム油の生産と調達は、2015年に国連で採択された21世紀の国際社会

の新たな持続可能な開発目標SDGsのうち、12（つくる責任・つかう責任）と15（陸の豊かさを守ろう）の2つの目標にも直結する重要な活動である。

パーム油の持続可能性を担保・実現するひとつの手段として、RSPO（持続可能なパーム油のための円卓会議：Roundtable on Sustainable Palm Oil）など、第三者機関による認証制度の活用がある。違法伐採や人権侵害のないよう管理徹底された農園で生産されたことが保証された認証油を積極的に調達し使用することにより、環境保全、持続可能な社会の実現、人権保護に貢献できると考える。RSPOは持続可能なパーム油の生産と利用を促進するために2004年に設立された非営利団体で、パーム油サプライチェーンの7つ段階に関わるステークホルダー（約4,900、うち日本140）によって構成されている（図4-2）。RSPOは、パーム油生産における違法性、経済的存続性、環境や社会への有益性などを管理・チェックするために、パーム油生産における8つの原則（43項目）と基準（P&C：Principles and Criteria）を定め、個々の基準ごとに具体的指標とガイダンスを示している。



図4-2 RSPO組織※24)

RSPOでは、生産段階での認証（P&C認証：Principles and Criteria Certificate）と、サプライチェーン認証（SC認証：Supply Chain Certificate）の2つの認証制度を設けアブラヤシ農園から最終製品までの各工程を認証し、全工程にわたって管理の連鎖をつなげることで最終製品中のパーム油のトレーサビリティを確保している。またパーム油の複雑なサプライチェーンを反映して、3つの認証モデルと1つのクレジットモデルがある。トレーサビリティのより確かなIP（Identify Preserved）やSG（Segregation）認証を取得することが推奨されているが、原材料のサプライチェーンが整っていない場合は、クレジットモデルであるB&C（Book & Claim）の購入により、生産者を直接支援する方法もある（図4-3）。

サプライチェーンモデル	<b>IP</b> アイデンティティ・ブリザーブド	<b>SG</b> セグリゼーション	<b>MB</b> マスタランス	<b>B&amp;C</b> ブツダ・イミド・クレーム
使用可能なロゴマーク				
表記(例)	認証された持続可能なパーム油が含まれています	認証された持続可能なパーム油が含まれています	認証された持続可能なパーム油の生産に貢献しています	認証された持続可能なパーム油の生産を支持しています
トレーサビリティ	◎	○	△	×
認証油購入費用	¥¥¥¥	¥¥¥	¥¥	¥
会員要件	RSPO 正会員および準会員			

図4-3 RSPOのサプライチェーンモデル<sup>※24)</sup>

現状では、RSPO認証油の流通量は世界のパーム油全体の約2割に留まっており、今後普及率を高めていくには下記にあげた種々課題を解決し克服することが必要と考える。

- ①消費者の認知度向上
- ②コストの適正化（取得費用、プレミアム、維持管理コスト等）
- ③クレジット消費の透明性向上
- ④需要予測に対する供給量の確保・明示
- ⑤他の認証制度（※MSPO, ISPO）との位置づけの明確化  
 ※ ISPO : Indonesian Sustainable Palm Oil  
 MSPO : Malaysian Sustainable Palm Oil

持続可能なパーム油の調達と消費を促進するため、世界では企業・団体間の意見交換や外部への情報発信ができるプラットフォームが拡大している。日本においても、パーム油生産における環境面などのさまざまな課題を解決し、日本市場における持続可能なパーム油の調達と消費を加速させる目的で、小売業・消費財メーカー・NGO (Non-Governmental Organizations) 等が中心となり、2019年4月にJaspON (Japan Sustainable Palm Oil Network) が設立された。JaspONでは、持続可能なパーム油の調達に関する情報の収集・提供や国・RSPOなど外部組織への働きかけ等の活動を開始している。

#### 4-2-2 森林資源の保全と回復

森林減少の防止については、2005年11月にカナダのモントリオールで開催された国連気候変動枠組条約 (UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change)

COP11でパプア・ニューギニアとコスタリカより「途上国における森林減少・劣化による温室効果ガス排出の削減（REDD：Reducing Emission from Deforestation and Forest Degradation in developing countries）」が提案された。その後2013年のCOP19では、これに加えて森林保全、持続可能な森林経営、森林炭素蓄積の増強も含めた取り組みを推進する、「REDD+（レッドプラス）」の基本的な枠組が合意された。この取り組みは、森林減少・劣化の抑制や持続可能な森林経営などによって温室効果ガス排出量を削減あるいは吸収量を増大させる努力に対してインセンティブを与えるもので、森林減少、劣化が予想される途上国においてREDD+を実施し、排出削減・吸収増大を達成すれば、その成果はREDD+実施者の貢献分として経済的に評価されるものである。

REDD+を途上国で展開するためには、森林の保全活動はもちろん、制度づくり、森林に蓄積されている炭素量のモニタリング、生物多様性や地域住民に対する配慮など、様々な活動が不可欠となるため、民間企業を含む様々な組織の得意な技術やノウハウを持ち寄り、互いに連携することが重要である。

UNFCCCでは、2020年からREDD+を正式にスタートすべく詳細な運用ルールの設定を進めているが、先行して世界各地で国際的な自主取り組みが開始されている。米国ではVCS（Verified Carbon Standard）という団体が設立され、REDD+の正式なスタートを前にプロジェクト認証や登録、クレジット(排出権)の発行をしており、クレジットの市場取引も行われている。

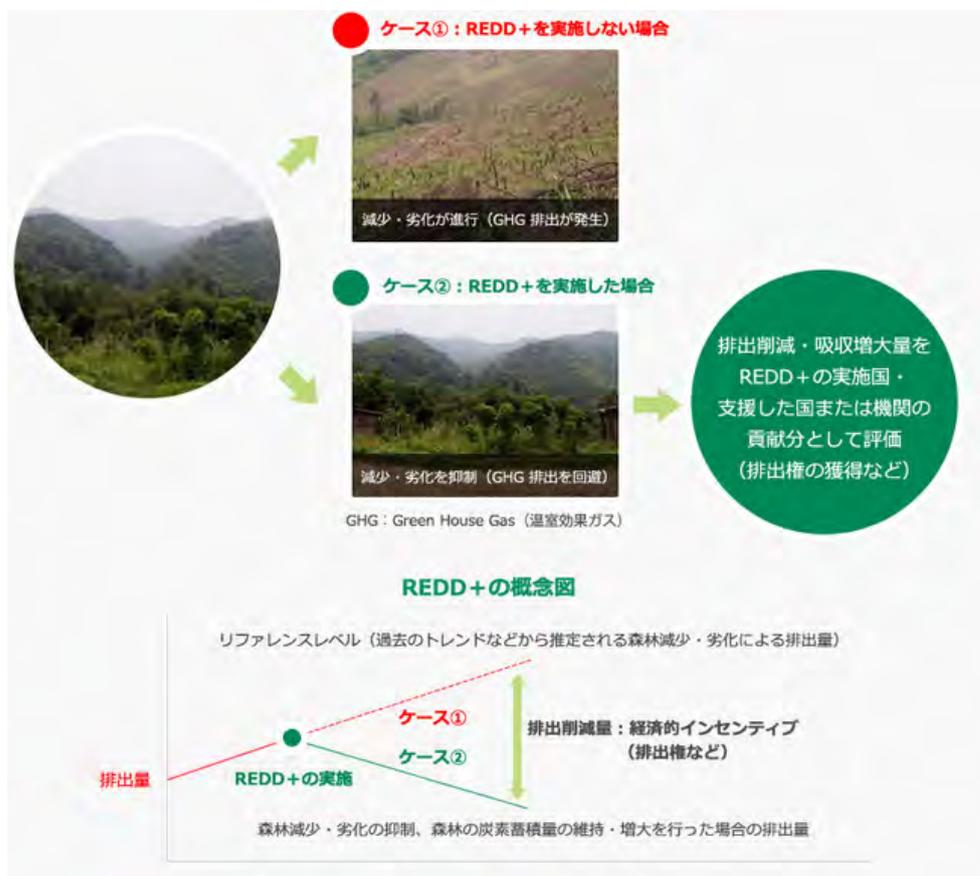


図4-4 REDD+の概念図※25)

#### 4-2-3 バイオ燃料の活用

温室効果ガス排出抑制の中心的な対策となるのは、化石燃料から再生可能エネルギーへの転換である。家庭用・工業用の電気に関しては、石炭・石油といった化石燃料依存の発電から太陽光・風力・地熱やバイオマスを使った再生可能エネルギーへの転換が進んでいる。輸送用燃料に関しては、先進国では蓄電池を使った電気自動車（EV：Electric Vehicle）や水素から発電する機構を搭載した燃料電池車（FCV：Fuel Cell Vehicle）へのシフトが徐々に進んでいる他、ガソリンや軽油を使った従来型の自動車に関しても植物から作られるバイオ燃料の混合使用により化石燃料依存を下げる取り組みが世界的に進んでいる。

バイオ燃料として用いられるのは大きく分けてバイオエタノール、バイオディーゼルの2種で、前者はガソリンに、後者は軽油に一定量混合して使用されている。アメリカでは石油販売業者に対してガソリン・軽油に対して体積比で10.9%のバイオ燃料を添加することが義務付けられるなど、南北アメリカやEUでは積極的な使用が推進されている他、パーム生産国のインドネシアやマレーシアではパーム油の自国消費を促すためにバイオディーゼルの混合義務化を進めている。バイオ燃料の生産量は増加しており、2018年の世界のバイオエタノール、バイオディーゼルの生産量はそれぞれ1億1,190万kl、4,130万klに達している。

※26)

#### 4-3 油脂生産性向上による気候変動への適応策

##### 4-3-1 パーム油の生産性向上

パーム油のこれまでの飛躍的な生産量の増加は、主に熱帯雨林の伐採、開発によりアブラヤシの作付面積を拡大することによって成し遂げられてきた。しかし、今後も増え続けるパーム油需要に応じて森林伐採を伴う新たな農園開発を進めることは、気候変動や異常気象の発生リスクを高めることにつながる可能性が高い。これを抑制するためには、作付面積を広げることなく収穫量を最大化していくことが求められる。パーム油の生産性向上のためには大きく分けて①パーム農園管理の適正化、②アブラヤシの品種改良が必要と考えられる。

##### ①パーム農園管理の適正化

パーム農園は作付面積や経営母体により、大・中・小規模の3つに分かれている。パーム油の最大の生産国であるインドネシアでは、パーム油生産の構成比は中規模の国営農園が7%、民間の大規模農園が53%、小規模農園が40%となっている。インドネシア政府の発表によると、小規模農園の生産性は大規模農園の半分から3分の1程度とかなり劣っており、その要因としては主に農園の管理方法の未熟さや資金力の不足が挙げられる。その結果、小規模農園では適切なタイミングでの施肥や農薬の使用、定期的なアブラヤシの再植といった単収を高めるために必要な管理が適切に行われておらず、生産性の低い状態に留まってしまっている。これが収量増加のための無秩序な農園開発に繋がっている可能性は否めない。したがって、小規模農園に対して政府や企業が資金や農園管理に関するノウハウを提供し単収を高める取り組みを推進することで、新たな農園開発をせずにパーム油の生産量を上げられる大きな余地が残されている。

##### ②アブラヤシの品種改良

アブラヤシはヤシ科アブラヤシ属に分類される植物の総称であり、パーム油の生産には西アフリカを原産とするギニアアブラヤシが利用されている。

アブラヤシは赤道を中心とする北緯17度～南緯20度の地域にある東南アジアやアフリカ、

中南米に生育する熱帯性の植物であり、年間降水量 1,500 mm～2,000 mm、最低気温 22～24℃、最高気温 29℃～30℃の気候条件が栽培に適するため、パーム油の生産に適した国や地域は限られている。パームの収穫は発芽後 3 年～4 年半から始まり、8～15 年目で収穫量が最大になるとされている。18 年目をすぎると収穫量が減りはじめるため、通常 25 年ほどで伐採され、植え替えられる。<sup>※27)</sup>

パーム油の単位面積当たり収穫量は他の植物油脂を圧倒しており、1 ha 当たりの収穫量は、パーム油が 3.6 t/ha と、2 番目に収穫量の多いなたね油 (0.7 t/ha) の 5 倍、年間生産量がパームに次いで 2 番目に多い大豆油 (0.4 t/ha) の 9 倍も高い。

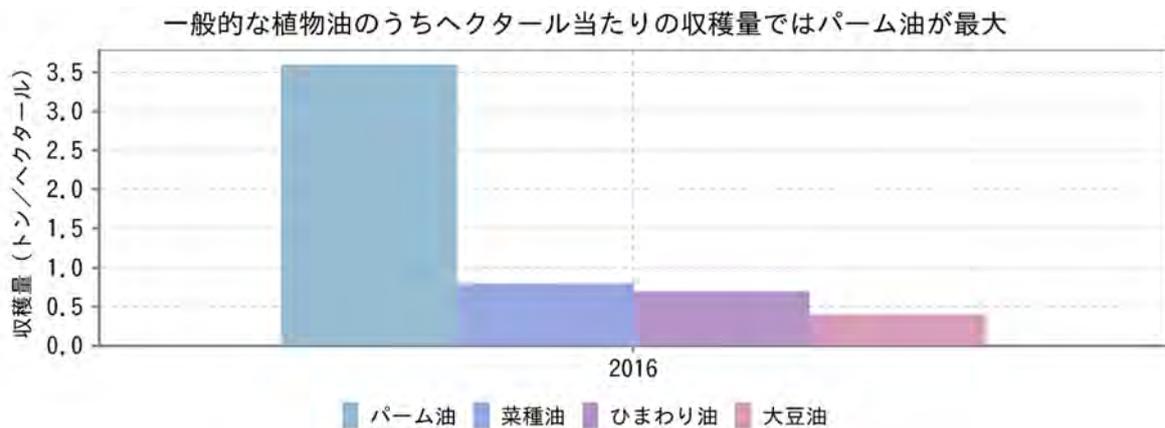


図 4-5 主要油脂の生産性<sup>※28)</sup>

アブラヤシの基本的な品種改良は、他の植物と同様に優良品種や個体の遺伝的継代、掛け合わせなど従来からの手法によりなされてきた。しかし、アブラヤシは雌雄異花（雄花と雌花が別々になっていること）という特性を持つため、自然交配では遺伝的に同一の花同士で受精が成立するとは限らず、次世代の個体は必ずしも優れた遺伝的性質が引き継がれない。つまり、パーム油を高生産する株ができたとしても、簡便に同様の株を増やし、普及させていくことが難しい性質を持っている。

こうした課題もあり、マレーシアでは大手民間資本と政府機関の双方で、アブラヤシの育種に関する研究開発が進められてきた。特に、組織培養技術を活用したクローン苗は、優れた遺伝的性質を持つ株を確実に増やすことができるため、パーム油の高生産株を普及させる上で非常に有用な方法となる。他にも、油脂含有量が多く着果率の高い Tenera 種への品種改良や、アフリカから導入したウィービル（ゾウムシ）の使用による受粉率向上などの開発が進められている他、農法面での様々な改良も加えられることで収穫量の向上が図られている。<sup>※29)</sup>

また、MPOB (マレーシア・パーム油庁: Malaysian Palm Oil Board) では、生産コストの削減やパーム油産業が引き起こす環境破壊の抑制を目指し、小型のアブラヤシの育種研究を数十年にわたって実施している。この小型アブラヤシの高さは約 5メートルで、域内で従来植えられていた品種の平均約 7.5メートルより約 30%低く、また、通常の品種より葉も短い。そのため、小型アブラヤシの栽培により土地を最大限に活用でき、単位面積当たりの収穫量が改善され、パーム油生産の持続可能性を高めるものと期待されている。

一方でこうした新品种の価格は従来の品種に比べ相対的に高いため、普及に際しては ①項と同様に経営環境や資金面で厳しい状況にある大多数の小規模農家に過大なコスト負担を与えかねないという課題が残っている。

### ③アブラヤシの遺伝子改変

遺伝子組み換え作物（GMO：Genetically Modified Organism）に対する賛否は別として、農業分野ではバイオテクノロジーを駆使したGMOの栽培・利用が確実に広がっている。遺伝子組み換え技術の最大の利点は、突然変異等の偶発的な品種改良に頼らず、あらゆる生物の遺伝子を利用して、目的とする性質を積極的に付与できる点である。これまでに様々な作物において高収量性・病害虫耐性・耐乾燥性・耐霜性・耐塩性等の性質が付与されたGMOが生まれている。油糧作物においても、なたねを筆頭に大豆、とうもろこし、綿などで多くのGMOが開発され、栽培されている。

アブラヤシについてもゲノム配列は既に解読されており、収量や果皮の厚さに係わる遺伝子群の同定など、解析が進められている。ただし、アブラヤシは、なたねや大豆などの草本作物に比べライフサイクルが長く、目的とする性質の確認に長い時間を要する。一般的にライフサイクルの短い草本作物の改良には10年、アブラヤシのような樹木の改良には40～50年かかるといわれており、現状では未だ優れた特性を持つGMOの創出には至っていない。<sup>※30)</sup>

アブラヤシの果皮・種子における油分や収穫量に関わる遺伝子の同定や調節機構の解明が進めば、遺伝子組み換え技術やゲノム編集技術の利用によって、より優れた品種の開発が進んでいくと思われる。また、病害虫耐性や耐乾燥性、耐霜性、耐塩性等の性質を付与することができれば、現状では栽培に適さない国・地域の耕作地、また温暖化の進行により栽培に適さなくなってしまう土地でもパーム油を生産できることができるようになるため、生産量を大幅に増やす手段として期待が高まる。

ただし、遺伝子組み換え樹木を使用することについては、生態系への拡散により、生物多様性の保全や、持続可能な利用に悪影響を与える恐れがあるという指摘もあり、消費者団体、自然保護団体を中心に根強い反対意見がある。組換え作物に対する安全性審査は、生物多様性の確保に関するカルタヘナ法に基づき、「食品としての安全性」と「環境に与える影響」が評価される。しかし、遺伝子組み換え樹木に関してはどちらの評価についてもデータが十分でなく、予防原則の観点から反対意見が強いとされている。

したがって、GMO アブラヤシの実用化は、法規制や利害関係者・各種団体との合意形成など、乗り越えるべき課題もあり、現段階ではまだ先になると考えられる。

このように、パーム油の生産性向上には小規模農園の資金的課題や、遺伝子組み換え樹木に対する法的、環境的な課題などが残されている。

## 4-3-2 大豆・なたねの品種改良

4-3-1項で述べたように、パーム油の飛躍的な生産量の増加は、熱帯雨林の伐採を伴うアブラヤシの作付面積拡大によって成し遂げられてきた。パーム油はパルミチン酸やオレイン酸を多く含み、食用や石鹸・洗剤等の化学品産業にも広く利用され、パーム核油はラウリン酸、ミリスチン酸、オレイン酸を多く含み、食用の他に洗顔料、スキンケア商品、化粧品などに使用される。しかしながら、パーム油およびパーム核油の生産には大きな環境負荷が伴う。パーム油に関する環境諸問題の解決のためには、パーム油の生産性向上に加えて、パーム油（パーム核油を含む）を代替しうる品質の油脂を他の油糧作物から作る取り組みが必要と考える。

### ①大豆の品種改良

大豆油は生産量第2位の油脂であり、その重要性からより高品質な油脂をできるだけ多く収穫できる品種の開発がこれまでに行われてきた。植物油の品質と収量を改良させる取り組

みとして、油脂の合成に関わる遺伝子の研究が進められてきたが、近年は油脂の分解に関わる遺伝子に着目した研究が進められており、2019年6月には大学共同利用機構法人 基礎生物学研究所の研究グループが、油脂を分解する酵素のリパーゼである Glycine max SUGAR DEPENDENT-1 (GmSDP1)が、大豆種子中の油脂の品質と収量をコントロールしていることを明らかにした。

大豆やなたね、ゴマなどの油糧作物は、発芽のエネルギー源として利用するため、種子の中に貯蔵物質として多量の油脂を蓄積する。研究グループは、植物種子における油脂の合成・分解の仕組みを研究する過程で、大豆種子の形成過程において、油脂を合成しつつも、その一部を分解していることを発見した。

この研究では、大豆種子の油脂合成・蓄積における GmSDP1 の役割を明らかにするため、種子特異的に GmSDP1 遺伝子の発現を抑制する形質転換株 (GmSDP1i) を作製し解析が行われた。その結果、種子における油脂の分解が阻害されることで、形質転換株の種子は親株と比較して肥大化し、油脂含量が増加した (図4-6)。



図4-6 GmSDP1 発現抑制株の種子

さらに、油脂の脂肪酸組成を調べたところ、大豆油の主要な脂肪酸であるリノール酸が減少し、オレイン酸が増加した (図4-7)。GmSDP1 はリノール酸よりもオレイン酸を分解しやすいため、親株の大豆種子では GmSDP1 によってオレイン酸が除去され、結果としてリノール酸含量が高まっていることが分かる。

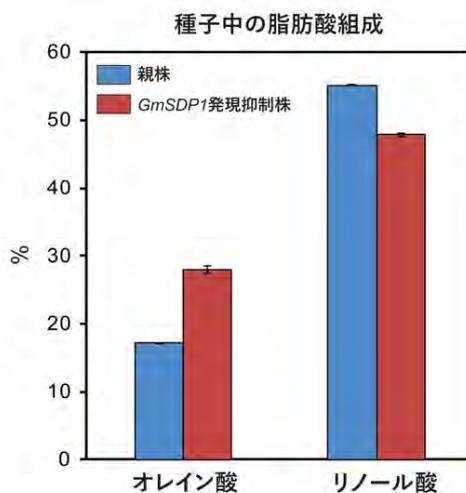


図4-7 GmSDP1 発現抑制株種子の脂肪酸組成

このことから、植物の種子には蓄積された油脂から特定の脂肪酸を選択的に除去することで、油脂中の脂肪酸組成をコントロールする仕組みが存在することを表している（図4-8）。

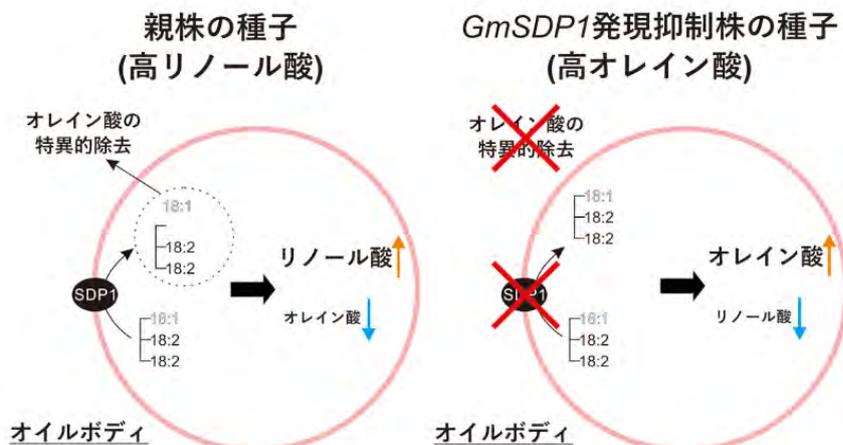


図4-8 オイルボディにおける脂質分解

この研究結果は、植物種子における油脂合成・分解メカニズムの解明につながるだけでなく、脂肪酸組成のコントロールによってパーム油・パーム核油を代替しうる高付加価値の油脂を生み出す新たな方法として期待される。

## ②なたねの品種改良

なたねは、これまで除草剤の影響を受けない品種や病気抵抗性、耐寒性、耐乾性、耐塩性といった農業場面で役立つ技術を中心に開発されてきた。近年は数種の脂肪酸に対するDNAマーカーの開発が進んでいる。突然変異育種は、なたねのオレイン酸の高含量化、あるいはリノレン酸の低減化を可能としている。油の合成経路が解明されるにつれて、関連酵素の遺伝子組み換えによってラウリン酸、ミリスチン酸又はステアリン酸が高まったなたねも作出されるようになっている。カルジーン社（現モンサント）によって高ラウリン酸なたねが開発され1995年から商業ベースでの生産が始まったが、現在は撤回されている。従来熱帯のプランテーションのアブラヤシでのみ生産されていたラウリン酸を、なたねに作らせることをふまえると、技術的又は経済的側面から課題があるものと考えられる。

## 4-4 新たな油脂やバイオ燃料供給に向けた技術開発

### 4-4-1 バイオ燃料の原料シフト

化石燃料によるCO<sub>2</sub>排出抑制のためにバイオ燃料が増産されているが、その生産に環境負荷がないわけではない。原料となるバイオマスは多くの場合穀物や植物油脂といった食糧である。2018年に世界で生産された植物油脂2億4,000万tのうち、17%にあたる4,000万tはバイオディーゼル用途で消費されている<sup>※31)</sup>。バイオエタノールも同様に、アメリカではトウモロコシの全生産量3億7,000万tのうち38%にあたる1億4,000万tが<sup>※32)</sup>、ブラジルではサトウキビの全生産量5億8,000万t(砂糖換算)のうち66%にあたる3億8,000万tがエタノール生産のために消費されている<sup>※33)</sup>

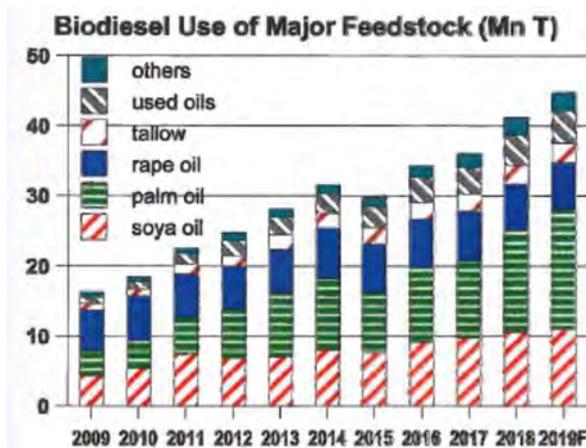


図4-9 バイオディーゼル用途に消費される油脂

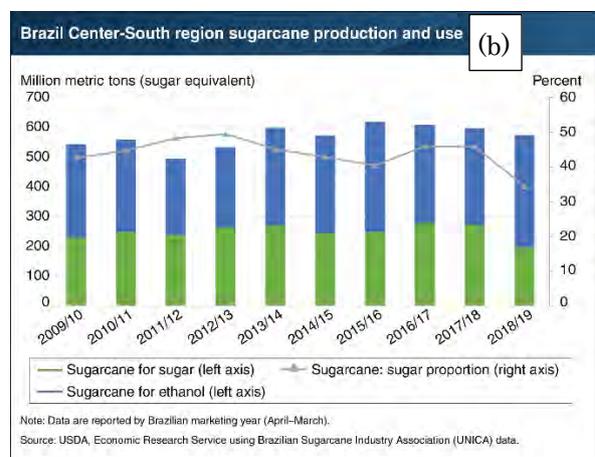
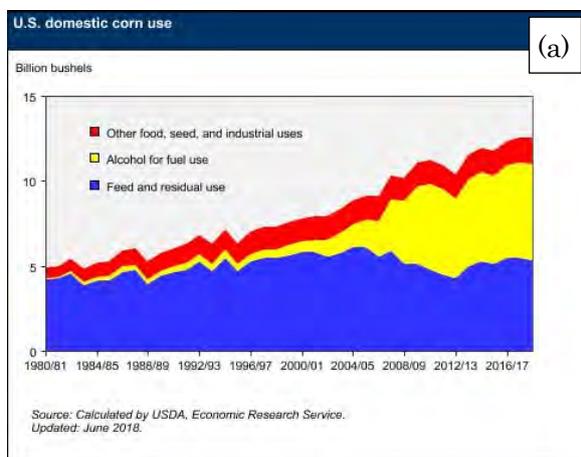


図4-10 (a)米国で栽培されるトウモロコシの用途  
(b)ブラジルで栽培されるサトウキビの用途

食糧作物の非可食部や非食糧作物由来のセルロースの発酵により生産される第二世代バイオエタノールの研究開発が進んでいるが、商業ベースでの実用化はほとんどされていない。すなわち、環境負荷を低減するためのバイオ燃料は貴重な農地を食料生産から奪っており、結果として耕地獲得のための森林破壊が進み、CO<sub>2</sub>吸収量を低下させることに繋がっている。

人口増加に伴って増加する油脂需要に対して持続可能な形で応えるためには、このいびつなバイオ燃料の状況を見直すことが重要である。非食用で他の食糧と農地を競合しない油脂原料によってバイオディーゼル用の油脂を代替できれば、4,000万tの油脂を食糧や化成品原料として利用できるようになるし、非食用原料からバイオエタノールを生産できれば、アメリカとブラジルだけで1,900万haの耕作地を油脂や食料生産に使うことができるようになる<sup>※34)</sup>。これは世界の大豆耕作地面積の15%に相当するため、大豆油の生産量から単純計算すると、耕作地を広げずに840万tもの大豆油を増産できる可能性があることを意味する。

ここではバイオ燃料の原料シフトとして有用な施策として、①ジャトロファ油脂の活用、②リサイクル油脂の活用、③海藻からのエタノール生産、を紹介する。

#### ①ジャトロファ油脂の活用

ジャトロファ (*Jatropha curcas*; 和名ナンヨウアブラギリ) は熱帯アメリカ原産の低木で、

種子に35%以上の油脂を含む。油脂の単収は1.75 t/haで、アブラヤシには及ばないもの大豆の5倍、なたねの3倍もの油が取れる。種子には有毒成分が含まれているため食料と競合しない他、なにより干ばつや害虫に強いため、乾燥地帯や痩せてしまった土地でも栽培できる。肥料や農薬をほとんど要さずに成長するため、干ばつや砂漠化の進行により収入源を絶たれてしまった貧困地域でも栽培でき、緑地の回復と現金収入を両立することが期待できる<sup>※35)</sup>とされ、2000年代初頭からバイオ燃料として利用する取り組みが積極的に進められた。インドでは2003年にバイオ燃料開発委員会を設立し、外資系企業の投資を誘致して大規模な栽培計画を推進した他、中国、インドネシア、ミャンマーなどでも、中央政府のエネルギー政策の一環として、また農村開発、国内雇用対策などの社会問題解決の目的でもジャトロファ栽培が推進され、大規模プランテーション造成などで栽培面積が拡大した。主要企業では自動車、石油大手などがこうした国々のジャトロファ開発事業に投資した他、航空各社もバイオジェット燃料開発に着手し、2008年には一部ジャトロファ油を利用した試験飛行に成功している<sup>※36)</sup>。

しかしながら、徐々にそのブームは廃れていってしまった。その背景には、ジャトロファの育種や栽培技術が未発達で、特に山間奥地の栽培では管理が難しかったこと、ブームに付け込んだ詐欺まがいの行為や支払金の未払いがあったことなどが挙げられ、2011年までにインドで約85%の農家がジャトロファ栽培を放棄したといった失敗事例が多く報告されている。ジャトロファは乾燥地で栽培が可能な点から注目を集めたものの、実態としては、乾燥地での安定した収量の確保については知見不足のため、比較的条件のよい土地で生産されている。つまり、現状ではジャトロファは耕作地で栽培される機会が多く、食料と競合せずにエネルギーを生産できるはずのポテンシャルをほとんど発揮できていない。

ジャトロファの商業利用の課題を考えると、その原因は栽培品種としての歴史が浅く、栽培技術の研究や品種改良がほとんどされていないことに帰着する。栽培品種としての土台を固める前にブームとなり乱暴な開発が行われてしまったために、残念な結果が残ってしまった。

一方、2010年に公益財団法人かずさDNA研究所はジャトロファの全ゲノム解読を行ったことを報告した。この情報を活用すれば、遺伝子組み換えやゲノム編集技術によって油脂収量向上や更なるストレス耐性の付与といった品種改良が期待できる。

## ②リサイクル油脂の活用

世界では年間2億4,000万tの植物油脂が利用されているが、廃棄物として回収・処理される量は決して多くない。例えば日本では、国内食用油年間消費量：234万tに対して、発生する廃食用油は55万t程度、そのうち回収され再利用されているのは40万t前後である<sup>※37)</sup>。回収された油脂は主に飼料用(25～27万t)、工業用(石鹸、塗料、インキ等：7～8万t)などに再生される他、5千～1万tがバイオディーゼルに変換され、燃料として利用されている。回収されずに、又は回収されても再利用困難で廃棄されている廃食用油は15万t程度に及び、これらはバイオディーゼルとして利用可能な未利用資源といえる。

現在、各国で家庭や事業者から廃食用油を回収する取り組みが行われており、その大部分がバイオディーゼルのリサイクルされている。

EUは特にこの取り組みに注力しており、年間280万t程度、同地域で消費される植物油脂の10%に相当する量の廃食用油がバイオディーゼルの燃料に変換されている。しかしながら、実際にはそのうち80万t程度は中国や東南アジアから輸入された廃食用油に由来する。

2016年以降、これら廃食用油の輸入は急増しているが、廃食用油由来のバイオディーゼルの生産量は増えていない。すなわち、輸入された分だけ域内で回収する廃食用油の量が減って

しまっていることが示唆される。

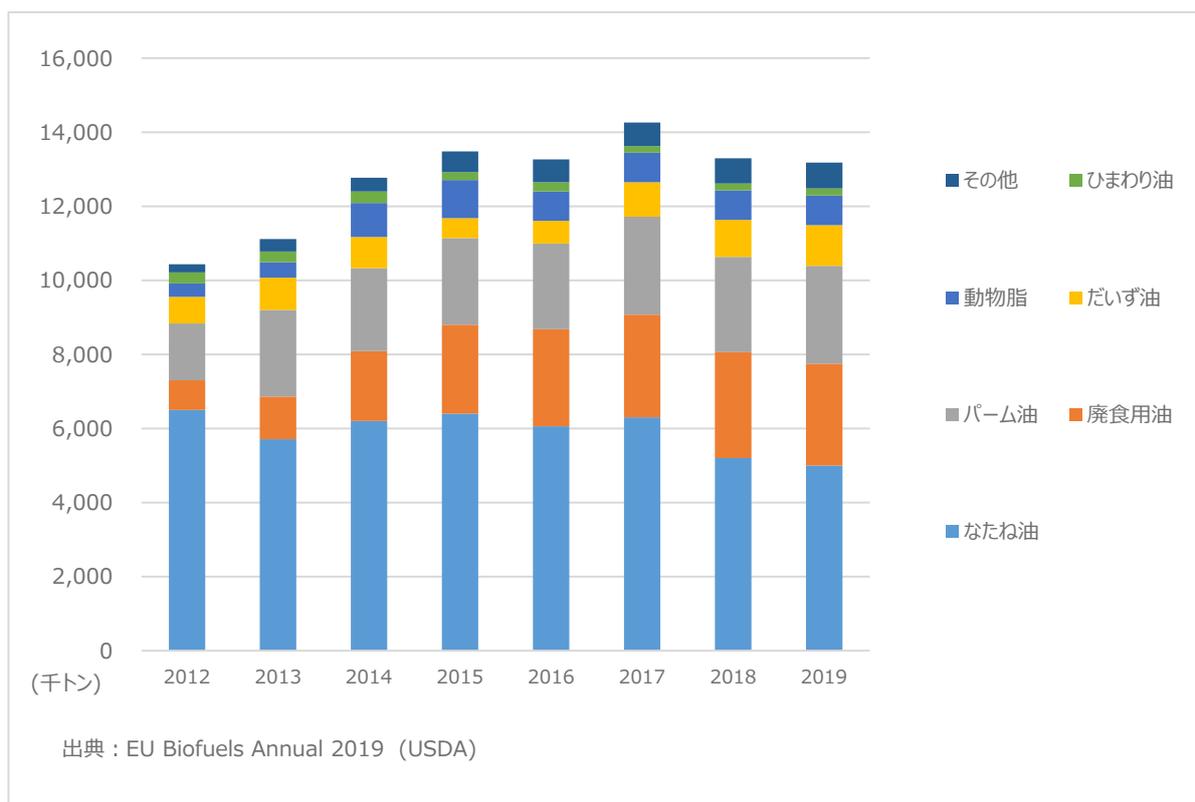


図4 - 1 1 EUにおけるバイオディーゼルの原料

廃食用油からのバイオディーゼルへのリサイクルの課題は、家庭やレストラン、食品加工業など多岐にわたる消費の現場から効率良く回収することであろう。実際、回収システムの整備が足りず廃棄されたり下水に流されたりする量は依然多いと推察される。

2010年に、中国で下水から回収され精製された「地溝油」が食用に流通していることが報じられて大きなニュースになった。この際の試算では、中国国内で流通する食用植物油脂の10%にも上る量の地溝油が流通している可能性が示唆されている。勿論これは衛生的に重大な問題があり食用は論外ではあるが、この回収量は廃食用油がバイオディーゼル原料として高いポテンシャルを持つことを裏付けている。実際に上海市は2019年から市内を走る路線バスの燃料として、地溝油から作られたバイオディーゼルの利用を開始している。

### ③海藻からのエタノール生産

地球上の生物に固定される炭素のうち55%は、海藻や植物プランクトンによって海洋生態系に吸収されており、陸上の森林などに蓄積される炭素よりも多い。特に二酸化炭素吸収能が優れているとされるのはコンブなどの褐藻類である。褐藻類は生育密度が高く成長速度が速いため、陸生植物に比べても二酸化炭素吸収量が非常に高い。単位面積当たりの炭素吸収量を比較すると、スギ林が年間2 t C/ha程度であるのに対して、コンブの生い茂る沿岸域『コンブ場』のそれは年間16 t C/ha程度と見積もられており<sup>※38)</sup>、コンブ場の育成は、植林に比べてはるかに効果の高い温室効果ガス吸収の取り組みといえる。この褐藻類をバイオ燃料として活用できれば、穀類由来に比べてはるかに効率的に、また食料と競合することなく環境負荷の少ないエネルギー資源を生み出すことができる。

陸生植物はデンプンやセルロースといった多糖類の形で炭素を固定しており、アミラーゼやセルラーゼといった酵素による分解を経てエタノールに変換するプロセスが多く研究・実用化されている。一方で、褐藻類はマンニトールやアルギン酸などの多糖類として炭素を固定しており、その分解のためには陸生植物とは異なるアプローチが求められる。2011年に報告された東北大学と東北電力による研究では、発電所の取水口に集まる褐藻類を原料に、乾燥工程を経ずに直接細胞を破壊し液状にする工程と、マンニトールやアルギン酸をグルコースに分解する糖化工程を用いて、少ない投入エネルギーでエタノール発酵を行う製造技術を報告している。この方法で、試験管レベルではあるが生マコンプ1キログラムから22グラムのエタノール製造に成功している。本法では、マコンプの液化・糖化のために研究室で単離された複数の微生物を作用させ、40日以上以上の培養期間を要している。商業生産のためにはより効率的に、短期間で反応を進める検討が重要であろう。

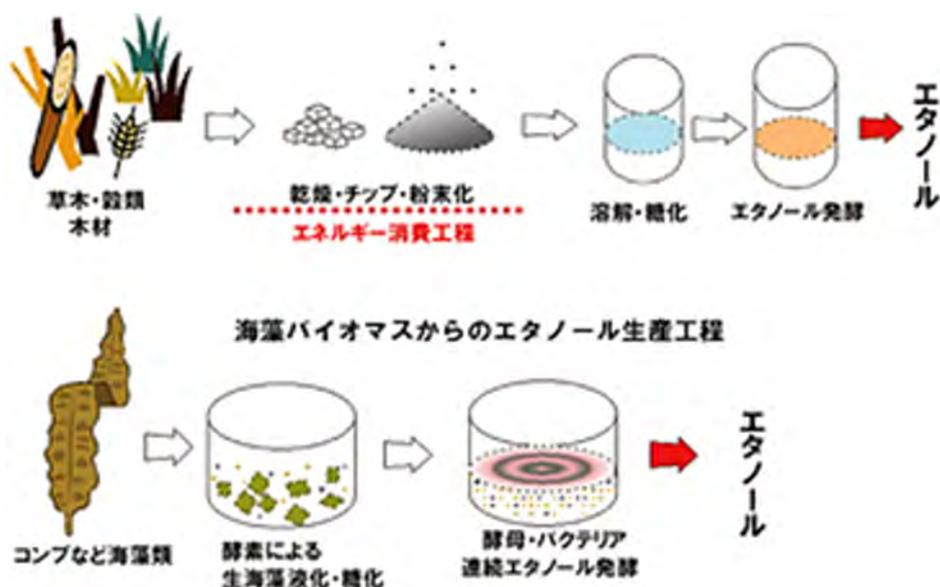


図4-12 海藻からのエタノール製造工程<sup>※39)</sup>

2015年に(大)京都大学から、褐藻の一種であるクロメに対して、遺伝子操作を行った酵母を使ってこれまで分解できなかったアルギン酸をエタノールに変換する技術が報告された。また、同年に(大)三重大学からは海藻を好んで食べるアワビの消化管から、褐藻類に含まれるアルギン酸、マンニトール等を分解する新種の細菌を発見したことが報告された<sup>※40)</sup>。これら知見を活用することで、褐藻からのエタノール生産はより効率的になることが期待できる。

海藻からのエタノール生産は未だ研究室レベルでの評価しかされておらず、工業スケールでの課題抽出にも至っていない。しかしながら、褐藻が生育するのは沿岸海域であるから、すなわち海岸線の長さがエネルギー作物生産の潜在能力といえる。世界各国の海岸線の長さを比較すると、カナダ、ノルウェーに次いでインドネシアが3位、日本は6位となっている。沿岸域をコンブ場として整備し、エネルギー生産のための農場とすることができれば、陸上の耕作地は食糧・油糧作物の生産に充てることができるようになる。環境負荷の面からこれ以上パーム油農園を増やすことが難しいインドネシアなどの海洋国において、褐藻由来のバイオエタノール生産は環境負荷軽減と新たな資源生産とを両立できる新たな取り組みとして期待できる。

海藻の生い茂る藻場は、小魚をはじめ多様な海洋生物の棲み処として、生物多様性の維持に大きく寄与している。沿岸地域での褐藻生産は、エネルギー生産や温室効果ガス吸収だけでなく、海洋資源の回復にも貢献できる非常に有用な事業になると考えられる。

#### 4-4-2 新たな油脂原料の探索

##### ① 微細藻類を用いた油脂の生産

現在バイオ燃料の原料の多くはパーム油やなたね油などの食用油脂に由来する。近年新たなバイオ燃料用ソースとして、微細藻類により生産される油脂（トリアシルグリセロールや炭化水素など）が着目されている。微細藻類は食品利用との競合がなく、また植物由来のバイオ燃料と比べて生産効率が高いといわれている。現在、バイオ燃料としての実用化を目指して、高効率で油脂生産のできる微細藻類株の選抜、さらに油脂生合成経路についての遺伝子レベルでの解明が進められており、それら知見に基づき、最適な環境や培養条件、また遺伝子組み換え微細藻類などを用いた生産性向上に向けた取り組みがなされている。

日本国内では、2006年5月に提案された経済産業省の「新エネルギー国家戦略」に含まれる「2030年までに輸送用燃料の石油依存度を80%まで引き下げる」という目標に基づいて、「戦略的次世代バイオマス利用技術開発事業」が推進されている。微細藻類由来のバイオ燃料製造化技術は2030年ごろの実用化を見据える「次世代技術開発技術」の対象として定められている。NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の2015年度の主な実施事業として下表に示す4事業が挙げられており、この中でも(株)IHIグループの事業は商用実証の段階に入りつつある。

主要事業者	IHI	J-POWER	DENSO	DIC
共同実施者	ちとせ研究所・神戸大	東京農工大・日揮	中央大・クボタ・出光興産	神戸大・基礎生物学研究所
微細藻株	<b>ポトリオコッカス</b> 油分(炭化水素)を体外分泌し、保持する特徴を有する藻。増殖能力の高い株を獲得済みであり、更なる改良も実施。 	<b>珪藻</b> 海洋珪藻 オイル成分の分布がシンプル。 細胞の付着性がない、自己凝集性がある。 	<b>シュードココミクサ</b> 日本国内の温泉から発見された藻類。酸性条件下で生育可能であり、野外培養に有利。 	<b>クラミドモナス</b> 海産性モデル緑藻の <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> の近縁種 
目的代替油	ジェット燃料	ジェット燃料	ジェット燃料・ディーゼル	ジェット燃料
開発段階	<b>応用研究 ~ 商用実証へ</b> 鹿児島市に国内最大級(1500m <sup>2</sup> )屋外培養設備を構築し、プレ実証試験を展開中 	<b>基礎~応用研究(中期)</b> 大型培養槽(円型10m <sup>2</sup> 、20基;福岡県)により、藻類の連続培養試験を実施中 	<b>基礎~応用研究(中期)</b> 60m <sup>2</sup> 培養槽(レースウェイ型;愛知県)における、藻類の試験培養を実施中 	<b>基礎~応用研究(中期)</b> 25m <sup>2</sup> 屋外レースウェイ培養槽を設置し(米国)、屋外培養を実施中 
研究開発の概要	屋外大規模培養実証を実施中 商用スケールに向けた課題抽出 海外での培養適性評価試験の実施 発電所等の排CO <sub>2</sub> の有効利用検討 等	屋外培養条件の確立、育種 屋外における半連続培養等の最適化 遺伝子組換えによる育種技術の確立 耐冷性株併用による通年培養の検討	屋外培養条件の確立、育種 屋外における培養条件の最適化 遺伝子組換え株の商用利用手法確立 藻の省エネ、低コスト回収技術開発	屋外培養条件の確立、育種 屋外における培養条件の最適化 遺伝子組換えによる育種技術確立 代謝解析による油分向上技術検討
研究開発支援状況	24年度からNEDO事業(戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業)にて実施。	25年度からNEDO事業(戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業)にて実施。	23年度からNEDO事業(戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業)にて実施(中央大と)。25年度から別のNEDO事業実施(中央大、クボタ、出光興産と)	24年度からNEDO事業(戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業)にて実施。

図4-13 微細藻類由来バイオ燃料開発事業(平成27年度開発事業) ※41)

現状の技術を用いて商用規模でバイオジェット燃料を製造した場合の製造コストについて、種々の文献に基づき比較すると、植物油脂や木質バイオマス由来の製造コストは100～200円/ℓ程度である一方、微細藻類由来では最も低い試算でも約400円/ℓと高額となっている。実際に NEDO 成果報告書記載の試算では、微細藻類由来の HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) の製造コストは、実証段階で734円/ℓ、将来的には283円/ℓまで低減すると計算されている。現状では製造コストの大部分は育種・培養に係るコストで占められており、実証段階のヒアリングでは1万円/ℓという回答もされている。<sup>※42)</sup>

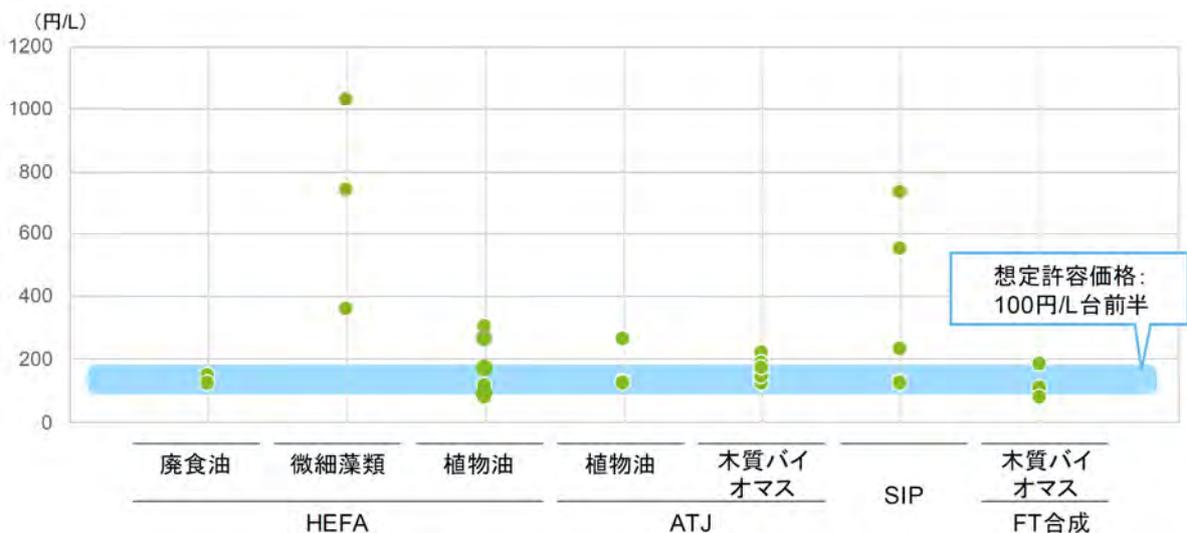


図4-14 文献調査に基づくバイオジェット燃料のコストサマリ

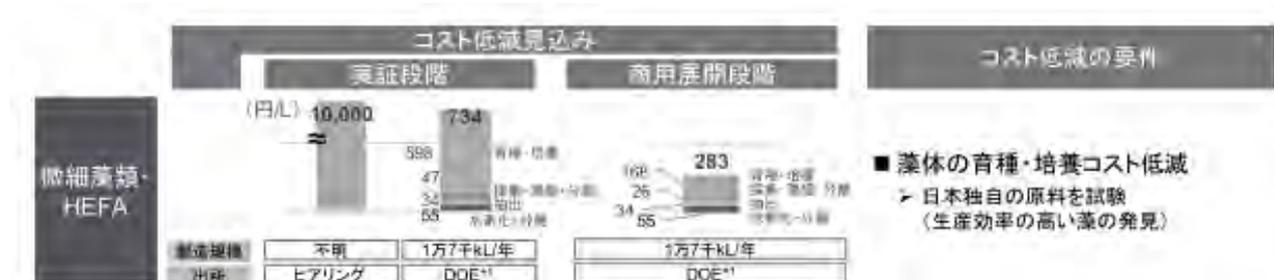


図4-15 バイオジェット燃料のコスト低減見込み<sup>※42)</sup>

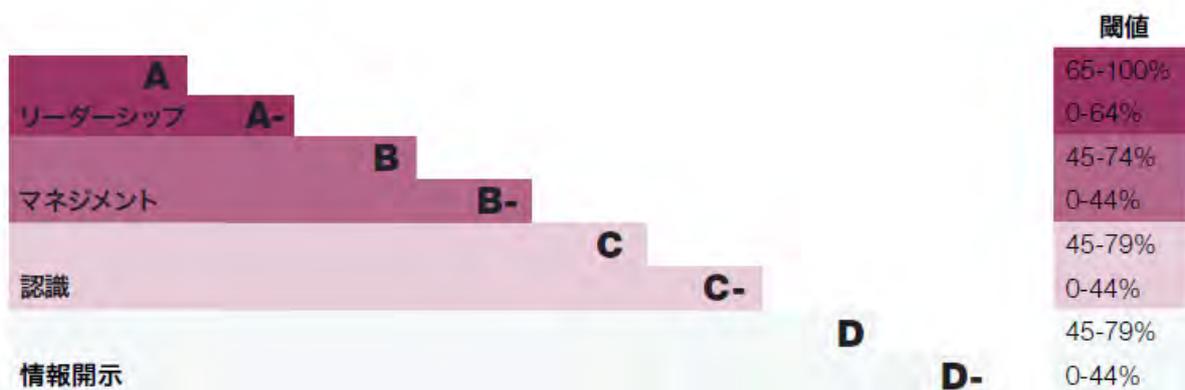
油脂ケミカル原料代替ソースとしての研究開発例として、花王(株)は1,000株を超える藻類の脂質生産能、脂肪酸構成比などを検証すると共に、遺伝子工学的な手法を用いた脂肪酸組成の改変検討を進め、特にパーム核油などに含まれる中鎖脂肪酸(アルキル鎖C10、C12)を多く産生する藻類株の取得に注力している。同社は海産の真正眼点藻に属するナンノクロロシプス属の野生種を用いて、オーストラリアにて4,000m<sup>2</sup>クラスの実機培養を実施し、ほぼ1シーズンの安定培養に成功した。さらに同社は、遺伝子工学的手法を用いて元来中鎖脂肪酸をほとんど生産しない当該藻類に対して、C10、C12、C14の生産割合を増加させることに成功した。この手法は当該藻類が自身の遺伝子のみで株の改変を行う「セルフクローニング」という性質を利用しており、カタルヘナ法の対象にならない。同社はこの技術をさらに発展させ、幅広い鎖長を有する株の開発に着手している。<sup>※43)</sup>

#### 4-5 気候変動対策活動の客観的な評価

ESG投資が浸透している現在、環境問題に取り組んでいる各企業が消費者、ビジネスパートナー、投資家など様々なステークホルダーに対して必要な情報を開示するためには、自らの活動（緩和策・対応策）の有効性や社会の持続可能性への貢献度などについて客観的な評価を得て、活動の進捗や成果を定量的に認識することが重要である。

環境問題への取り組みに関する企業価値を測るひとつの手法としてCDP（旧 Carbon Disclosure Project）への参画がある。CDPは英国を本拠地として環境分野に取り組む国際NPO（「Nonprofit Organization」又は「Not-for-Profit Organization」）で、機関投資家と連携して企業や都市に対して「気候変動」「水」「森林」の3分野におけるガバナンス、事業戦略、リスク管理などの公表を求め、その取り組みを評価するプログラムを実施している。2019年現在、運用資産規模で96兆米ドルに達する525の機関投資家と、購買力規模で3.6兆米ドルに達する125の購買企業が賛同しており、世界の時価総額50%強にあたる約8,400の企業がCDPを通じて環境問題対策に関する情報開示を行っている。主要国の時価総額の上位企業に対しては毎年質問書が送付されており、企業側からの回答率も年々高まっている。オンラインで集められた回答は分析・評価され、取り組み内容に応じたスコアリングが世界に公表されており、企業価値を測る一つの重要指標となりつつある。

CDPは4つのレベルを示すスコア（A, A-, B, B-, C, C-, D, D-の8段階評価、無回答の場合はF）を用いて企業の取り組みをハイライトする直感的なアプローチを開発している。“情報開示”レベルは企業の情報開示の度合いを評価し、“認識”レベルは企業が自社の事業に関わる環境問題やリスク、その影響をどの程度評価しようとしているかを測っている。“マネジメント”レベルでは環境問題に対する活動、方針、戦略をどの程度策定し実行しているかを評価し、“リーダーシップ”レベルでは企業が環境マネジメントにおけるベストプラクティスといえる活動を行っているかどうかを評価している（図4-13）。



F: CDP気候変動質問書の回答評価を行うのに十分な情報を提供していない。!

図4-16 CDPスコアリングの基準<sup>※44)</sup>

「気候変動」分野に関しては、全世界でスコアリング対象となった8,000超の企業のうち、上位2%に相当する179社がAリストに選定された。日本では、FTSEジャパインデックスに該当する企業を基本として選定した500社のうち、63%に相当する316社（自主回答企業を含めると計356社）より回答があった。日本のAリスト企業数は38社（自主回答の2企業含む）と世界で最も多いものの、回答企業数の1割程度とまだ低い。業種やおかれている事業環境が異なる中、ガバナンスにおける気候変動問題の位置付けを

より高め、さらなる取り組みの活性化につなげていく必要がある。

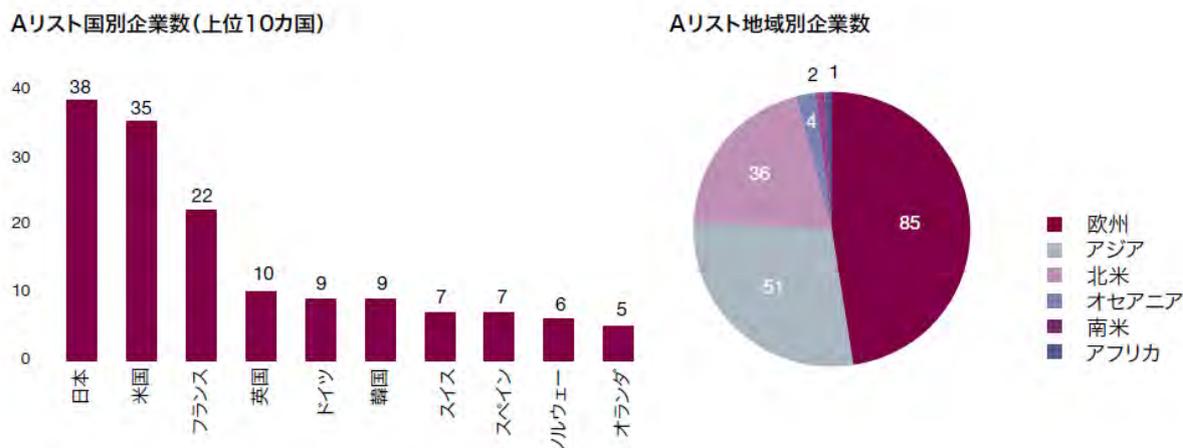


図4-17 気候変動Aリスト企業数<sup>※44)</sup>

また、3つの分野の中でパーム油が深く関係するのは「森林」分野である。「森林」分野には、パーム油の他、木材・大豆・畜牛品・天然ゴム（パイロット）のあわせて5つのコモディティーが含まれ、各々についてプログラムが実施されている。「森林」分野のCDPフォレストプログラムにおいて、2018年に質問票が送付された日本企業は139社あったが、回答したのは30%にあたる42社にとどまり、気候変動やウォーターセキュリティプログラムに比べて回答率はかなり低い。42社中パーム油について回答した企業も11社にとどまっている<sup>※45)</sup>。

欧米の機関投資家はCDPを強く意識しながら投資をしており、その多くが「気候変動」をポートフォリオの重要なリスク要因に位置づけ、投資で優先すべき事項の一つに掲げている。今後、各企業は持続可能な社会の実現に向けて責任のある主体として積極的に情報開示を行い、ステークホルダーとの協働・対話のもと、透明性の高いESG活動を加速させることが求められる。

#### 4-6 各企業の具体的取組

##### ①花王株式会社

花王は、「CDP 気候変動 レポート 2019：日本版」(2020/1/20)において、全世界で179社、日本で38社の中の1社として、気候変動Aリストに選定されている。ティア1サプライヤーからパーム油工場を特定し、各工場から50km以内の土地の利用におけるすべてのリスクをマッピング。環境・人権に悪影響を与えていることが懸念される工場には専門家と訪問し、操業状況を確認の上、必要に応じて改善を要求。今後、社会的な責任のある各企業が積極的に情報開示を行い、パーム油調達をはじめ持続的な社会の実現に向けて、ステークホルダーとの協働・対話による透明性の高いESG活動が求められる。

花王における、持続可能な原料調達に取り組みとして、サステナブルな洗浄基剤「バイオIOS」が挙げられる。高い洗浄力を保ちながらも、汚れも洗浄成分もほとんど残さず、低温の水でも有効に作用する特長があり、衣料用液体洗剤の「アタックZERO」を商品化している。アブラヤシの実から食用パームを採取する際に残ってしまう、これまで有効活用されてこなかった油脂原料を活かせることを確認している。

また、油脂の代替素材研究では、食料としてもさらに必要とされる可能性の高いアブラヤシに代わる原料として藻類に着目し、より持続可能な原料の調達を目指した研究が進められている。

## ②ネスレ (Nestlé Ltd.)

### ●グローバルで掲げる長期的な目標として、

ネスレは、取り組みの指針となり、「持続可能な開発目標 (SDGs)」の達成を支援する、3つの包括的な長期的な目標を2030年に向けて設定した。

- 1) 5,000万人：5,000万人の子供たちがさらに健康な生活を送れるようになるための支援
- 2) 3,000万人：ネスレの事業活動に直結する コミュニティに暮らす3,000万人の生活向上の支援
- 3) 環境への影響ゼロ：  
ネスレの事業活動における環境負荷ゼロを目指すための取り組み

2019年9月、ネスレは、2050年までにゼロエミッションの実現にコミットし、気候変動への取り組みを加速させることを表明し、「**2050年までに温室効果ガス (GHG) の排出を実質ゼロにする**」という長期的な目標を発表した。これは、地球の気温上昇を1.5度未満に抑えるというパリ協定の最も意欲的な目標に沿ったものであり、国連気候行動サミットに先駆けて、企業としての誓約「Business Ambition for 1.5°C」に署名した。

「気候変動は社会が直面する最大の脅威のひとつであり、私たちの事業の将来を脅かす最大のリスクのひとつでもあります。」と、CEO マーク・シュナイダーは述べている。

また、エグゼクティブ・バイスプレジデント オペレーションズ責任者であるマグディ・バタトは次のように述べている。「私たちの目標を1.5度への道筋に合致させていくために、ネスレのオペレーションを大幅に改革していきます。そのためには、原材料の生産、調達の方法も大きく変えていくこととなります。サプライヤーにもこの道程を一緒に進んでいただく必要があります。膨大な作業になりますがやり遂げる決意です。」

### ●2050年の長期的目的達成に向けた、具体的なアクションとして

- 1) 消費者のトレンドと選択に合わせて製品変革を加速

**気候変動の影響にさらに配慮した原材料を使用して製品改良の検討**や代替パッケージング材料への移行を進める

- 2) 農業において二酸化炭素回収を増やすプロジェクトを拡大

GHG 排出を制限するため、農業従事者との協働プログラムを強化、乳製品のサプライチェーンのマネジメント改善、再植林や生物多様性の保全による森林保護の取り組み強化

- 3) 100%再生可能エネルギーによる電力をネスレの工場、倉庫、配送、オフィスで利用

気温上昇を1.5度未満に抑えるためには、産業界、政府、そして社会全体に抜本的な改革が求められます。ネスレは、引き続き全てのセクターが1.5度の目標に向け、より迅速な行動がとれるよう政府の方針を支持していきます。支援的な立法は再生可能エネルギーの市場拡大への障壁を減らし、農林業でより多くの二酸化炭素回収に向けたイノベーションを促し、カーボンプライシングの確立を促します。

## 第5章 提言

### 5-1 「負の連鎖」克服へ

第4章までで、気候変動と異常気象の発生要因が人類の生産活動から発生しており、世界は主力油脂原料の調達に伴い様々な環境破壊を引き起こす「負の連鎖」（図3-16参照）に陥っていることが確認できた。「負の連鎖」とは、主力油脂原料の「世界人口増大に伴う需要増大及び気候変動や異常気象による供給不足」に対応するため「環境破壊をしても農地を拡大」収穫量を確保する。環境破壊は「気候変動及び異常気象の要因」となり、気候変動や異常気象から「農地が減少」すると収穫量は減少し供給が不足するので、さらに農地を拡大する必要に迫られる、という連鎖状態を示す。

消費国の日本では、主要油脂原料生産国と遠く離れていることで日常実感が沸くことが無いが、世界中で気候変動や異常気象が起きていることや主力油脂原料が生産国のみならず世界中で消費されていることを考えても、世界レベルで解決への取組みが必要な問題であることがわかる。

「負の連鎖」への各施策に対しても課題は多く我々研究会の所見を添えあらためて提言としてまとめる。

### 5-2 「負の連鎖」への緩和策・適応策と新技術

#### 5-2-1 緩和策

##### ①認証油の調達の課題と対策

油糧作物のエリア開発が進む中、森林の違法伐採や生産者の人権侵害などを防止する取り組みのひとつとして認証制度の活用が有効と考える。たとえば植物油の中で生産量・消費量ともに世界トップのパーム油に関わる代表的なものにR S P O認証があるが、その普及率は世界の流通量の2割程度とまだまだ低い。気候変動や異常気象に対する緩和策として効果的に寄与するためには、農園までのトレーサビリティが明確なR S P O認証油脂原料の調達・消費をさらに拡大させていく必要がある。しかしながら、E S Gを強く意識しつつB C P（事業継続計画：Business Continuity Plan）も考慮して事業活動を行わなければならないために、企業単体の努力だけでは困難である。国や異業種含めた業界・団体とも密接に連携し、下記諸課題の解決に向け包括的に取り組まなければならない。

##### 【R S P O認証普及への課題】

- 消費者の認知度向上（情報発信、啓蒙活動等）
- コストの適正化（取得費用、プレミアム、維持管理費用）
- クレジット消費の透明性向上（環境保全や小規模農家支援につながっているか？）
- 需要予測に対する供給量の確保・明示（調達リスクヘッジ）
- 他の認証制度（M S P O、I S P O）との位置づけの明確化

企業としては、持続可能な調達を推進する責任がある一方で、B C Pの観点から費用対効果や調達安定性も考慮する必要がある。企業単体で諸課題を解決することは困難である。持続可能なパーム油の調達と消費の拡大に向けて、日本の企業がJ a S P O Nの活動と連携するとともに、油脂業界だけでなく他業界も巻き込んだ取り組みも深化させる必要がある。

##### ②「森林資源の保全と回復」の課題と対策

森林資源の保全と回復の対策について、「R E D D +」は数少ない国際的な森林資源の保全・

回復活動ではあるが、運営方法や管理・監視方法に不明確な部分も多い。またクレジット購入という資金を集める手法が具体的に森林資源の保全や回復にどのように繋がるのか不透明である。加えて相当な事業規模を有する企業でなければ参加ができない状況である。現状では国際的な事業展開をしている企業にとって、NPO等環境保護団体からの批判対策としてのメリットを有するのみである。環境破壊が業界の存続を危うくしている今の状況においては、「REDD+」に参加するより一歩前に進み、業界団体や企業連合が直接森林保全活動に乗り出してはどうであろうか。はじめは大きな活動である必要はなく、油脂業界だけでなく食品業界をはじめ様々な業界に対し「気づき」を与えるものになれば良い。企業だけでなく業界として動くことで森林保全と回復への流れを生む一歩になるはずである。

### ③「バイオ燃料の活用」の課題と対策

4-4-1項で述べたように、現状ではバイオ燃料はほとんどが食糧作物・油糧作物から生産されている。化石燃料の使用抑制のために各国が補助金などを整備していることもあり、その生産量は増加を続けているが、バイオ燃料の増産は貴重な農地を食料生産から奪い、結果として耕地獲得のための森林破壊が進み、CO<sub>2</sub>吸収量を低下させることに繋がっている。この問題を解決するためには、バイオ燃料の原料を食料と競合しないものにシフトしていくことが重要である。具体的な施策については次項以降で提言する。

## 5-2-2 適応策

### ①パーム油の生産性向上に向けた課題と対策

インドネシアの2018/2019F年度のパーム油の生産量は4,340万tとなっているが、資金や農園管理に関するノウハウの提供により、仮に小規模農園が大規模農園並みに生産性を向上することができれば、計算上ではあるが生産量は1,700~3,400万t増加することになる(4,340万t×40%×1~2倍として計算)。この生産量は、インドネシアの次にパーム油生産量の多いマレーシア1国分の生産量2,020万t(2018/2019F年度)に匹敵、又は優に上回る生産量であり、非常に大きな効果をもたらすことができる。さらに、遺伝子組み換え樹木の利用が実用化されればさらなる生産性の向上が見込まれる。

今後、我々が安定してパーム油を獲得していくためには、パーム油の生産国だけでなく、日本を始めとするパーム油消費国の積極的な支援活動が必要と考える。長期的には品種改良や遺伝子改変技術により、高収量性や病害虫耐性の付与、栽培地域を広げられる新たなアブラヤシ等の開発支援が必要と思われる。一方、短期的には、4-3-1項で述べたように、特にパーム農園管理の適正化がパーム油の生産性・生産量を大幅に向上させる可能性が高く、そのために必要な資金援助が現実的かつ現状で取り得る最も有効な手段と考えられる。

そこで、パーム油の安定的な確保を目的とした具体的な取り組みとして、パーム油の生産性向上、及び新たな品種開発に関わる資金提供を主目的とした支援団体の設立を提言したい。油脂工業会館が旗振り役となり、会員企業だけでなく、油脂を使用する多くの企業群から参加を募り、CSR活動やSDGsへの取り組みの一環として参画してもらう。さらに、NGOや日本政府とも連携し、日本全体の取り組みとして推し進めていくことが必要だろう。世界の植物油消費量のわずか1%に満たない日本だけでは、パーム油生産にからむ諸問題や環境問題への改善効果は決して大きくはないかもしれない。しかし、こうした取り組みを世界の国々に先駆けて始め、また、世界中へ広げていくことが、この支援団体の最終的な目的、目標であり、日本発信で世界を変えていく一つのモデルケースとしたい。こうした取り組みが結果的に、油脂原料の安定的な確保につながり、油脂製品の供給や価格の安定化、さらには、油脂

製品の提供企業や消費者の利益をもたらすと考える。

## ②大豆・なたねの品種改良の課題と対策

パーム油（パーム核油を含む）の代替品を大豆やなたねから作る取り組みはまだ道半ばであり、特にパーム核油の代表成分であるラウリン酸、ミリスチン酸を大豆やなたねで代替できる段階には至っていない。開発コストや品種改良の結果が出るまでに相当の期間がかかることを考慮すると、企業や大学、研究機関が単体で開発を行うには負担が大きすぎる。パーム油の生産性向上と合わせ、長期的な品種改良や遺伝子改変技術の構築を見据え、油脂工業会館の会員企業を中心に、油脂に関わる多くの企業や大学、研究機関から参加を募り、支援団体を設立することを提言する。

## 5-2-3 新技術

### ①ジャトロファ油脂の活用の課題と対策

ジャトロファ油脂をバイオ燃料等の原料として商業利用していくためには、収量や乾燥耐性などを高める品種改良と栽培技術の改良、そして食料と競合しない栽培地の確保が必要である。

2010年にかずさ DNA 研究所はジャトロファの全ゲノム解読を行ったことを報告した。この情報を活用すれば、遺伝子組み換えやゲノム編集技術によって油脂収量向上や更なるストレス耐性の付与といった品種改良が期待できる。

栽培地に関しては、国家単位で行われる大規模な砂漠化対策と連携することが望ましい。例えば、インドは国土の総面積の29.3%が半乾燥地となっており、砂漠化や荒廃化の脅威にさらされている。2019年9月に首都ニューデリーで開催された「国連砂漠化対処条約第14回締約国会議（UNCCD/COP14）」の中で、北部ハリヤナ州からアラビア海までの長さ1,400km、幅5km、2,600万haの半乾燥地帯を緑化する「グリーンベルト計画」を進めることを表明した。この緑化事業を、ジャトロファを用いて行えば、莫大な緑地の創出によって温暖化抑制を図りながら、単収1.75 t/haとして年間4,500万t以上の油脂を生産できることになる。これは世界でバイオディーゼル向けに消費される植物油脂の量を上回る。もちろん、ジャトロファに関して一度“失敗”を経験しているインドにとって、再びこれに取り組むのはハードルが高い。油脂産業界は環境適性を上げ収率を向上するようなジャトロファ品種改良を主導し、その有用性を国際的にアピールしていく必要があるだろう。

2007年からアフリカで行われている「グレートグリーンウォール」プロジェクトは、サハラ砂漠の南側の半乾燥地帯に幅15km、長さ7,775kmという巨大な緑の壁を作ろうという大規模な緑化計画である。気候変動だけでなく貧困や紛争との戦いでもあるこのプロジェクトの成功のためには、長期的な気候変動抑制という理想だけでなく、短期的な経済性のメリットが得られることも必要である。ジャトロファによる油脂生産は、こういったプロジェクトでも大いに役立つことが期待できる。

### ②リサイクル油脂の活用の課題と対策

廃食用油からのバイオディーゼルへのリサイクルの課題は、家庭やレストラン、食品加工業など多岐にわたる消費の現場から効率良く回収することである。

世界的に、食用油脂の下水への廃棄などに対してペナルティを科すとともに回収にインセンティブを与える取り組みを進め、地道に回収率を上げていく必要があるであろう。

### ③海藻からのエタノール生産の課題と対策

海藻からのエタノール生産は未だ研究室レベルでの評価しかされておらず、工業スケールでの課題抽出にも至っていない。まずは当該研究に対して研究費を拠出し、課題を見出すところから一歩ずつ事業化に向けて取り組む必要がある。

特にインドネシアや日本のように海岸線が長い海洋国は潜在的な資源国といえる。次世代のエネルギー生産国となるべく、積極的に研究を推進していく必要があるだろう。

#### ④微細藻類を用いた油脂生産の課題と対策

生産性の高い株の選抜と効率的な生産スキームの確立などによる製造コストの低減が求められる。微細藻類に特徴的な有用副生成物（色素、たんぱく質、脂質、糖質）の利用価値も考慮すれば、バイオ燃料のコストは140円/ℓ程度まで低減できることが見込まれる。

微細藻類の培養のためには広大な培養槽が必要となるが、この点では耕作放棄地の利用が有望視されている。現在、日本の耕作放棄地は約12万ha存在しており、これを活用するとバイオ原油の生産ポテンシャルは178万kℓ/年と試算されている（平成27年度時点）。

2050年のバイオジェット燃料の国内の需要は400万kℓ/年との試算がなされている。<sup>※42)</sup>

この全てを賄うためには、より生産効率の高い藻類の選抜・品種改良や、気候条件に生産性が左右されにくい効率的な培養方法の確立によって収率を高めていくことが必要である。<sup>※46)</sup>

生育条件やコスト面での課題はあるものの、微細藻類によって次世代エネルギー源や需要の高い特定鎖長の脂肪酸を含む油脂原料を安価に安定的に供給できるようになれば、食用油脂への依存度を効果的に低減できる可能性が見込まれる。また砂漠や荒廃地でも栽培が可能な藻類も多く、農地と競合しない土地利用という点でも非常に大きなメリットが予想できる。

#### ⑤新規油糧のさらなる探索～昆虫による油脂生産～

昆虫は一般に、食べた餌を体重に変換する飼料効率が哺乳類や鳥類に比べて高い。したがって、食料と競合しないバイオマスを餌に飼育できれば、牛や豚に比べて環境負荷の低い有用な畜産資源になりえる。

ミツバチの巣を荒らす害虫として知られるハチノスツヅリガの幼虫は、生体重量の20%、乾燥重量の73%もの脂肪を貯蔵する。餌はフスマ(小麦粉精製時に排出される外皮)に糖蜜やグリセリンを混ぜた安価な物で済み、繁殖力が非常に強くライフサイクルが6週間程度と短い上、高密度飼育が可能で大量養殖が容易である。この幼虫は『ハニーワーム』、『養殖ブドウムシ』といった名称で熱帯魚や爬虫類、釣りの餌として既に商業ベースで養殖されており、虫体採集を妨げる厄介な吐糸を抑制する温度処理法も確立している。1m<sup>2</sup>、厚さ5cm程の培地でおおよそ5,000匹の幼虫が飼育できるから、10段の棚で年に8サイクルの養殖を行った場合に得られる幼虫は1haあたりおおよそ40億匹、1,200tになる。これを搾油することで、240t/haという非常に高い収量で油脂(ワーム油と命名する)が得られることになる。ワーム油の脂肪酸組成は表5-1の通りで、パーム油や豚脂よりも不飽和度が高い。この油脂は食用としてもよいが、一般的な昆虫食への生理的嫌悪を考えるとバイオディーゼルやとして用いる方が実用であろう。ワーム油はパーム油に比べて融点が低いため、バイオディーゼルとしての性能は高い。

表 5 - 1 ワーム油の脂肪酸組成

	脂肪酸							
	14:0	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:1
ハチノスツヅリガ幼虫 *	0.4	28.4	1.3	1.9	48.1	12.2	1.5	6.1
パーム油**	1	45.5	0.5	4.5	41.5	7		
豚脂**	1	28	3	15	42	9	2	0

出典 \*Barbara J. Pierce et.al The Journal of Experimental Biology 208 2005  
 \*\*油脂化学便覧

ガソリンや軽油を使った従来型の自動車からEVやFCVへの転換が進むにつれて、長期的にはバイオディーゼルやバイオエタノールの需要は減っていくことが予想される。新規油脂・リサイクル油脂や海藻から、バイオディーゼルやエタノールに代わって水素や電気を取り出すような研究にも取り組んでいく必要があるであろう。

### 5-3 「負の連鎖」に対して包括的対策の提言

#### 5-3-1 包括的対策の必要性

「負の連鎖」の4つの課題と施策の関係は図5-1のようになっている。

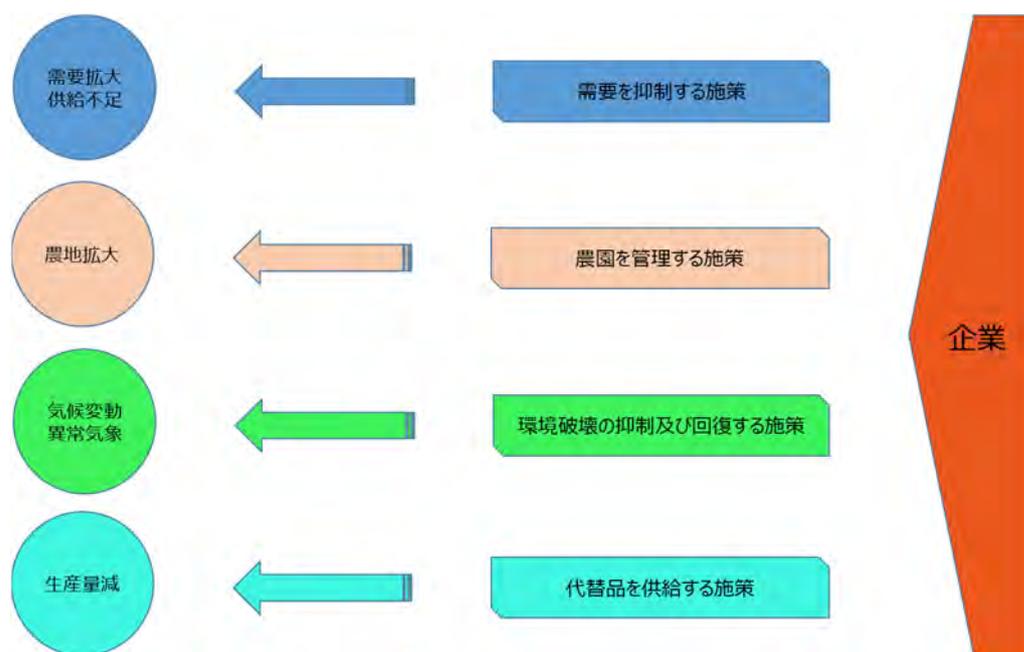


図5-1 「負の連鎖」の4つの課題と施策の関係

但し、企業単位での対策・対応はあるものの、包括的に管理する機関や仕組みの存在を確認できなかった。

そこで我々は、各課題に対し個別で解決するだけでなく包括的に管理することで連携を生み、これらの相乗効果により「負の連鎖」の大幅な緩和又は解消に向けた筋道をつけることができるのではないかと結論に至った。

今後環境破壊により発生する気候変動や異常気象のリスクは、一企業が解決できない問題である。前述の通りESG観点から各企業のCSR及びCSV活動を中心に環境保全機運も活性化してきているが、油脂業界は団体として明確な方向性を打ち出し、企業が連携し包括的な一致団結した対策を講じることをしなければ「負の連鎖」のなか持続的な油脂原料調達は難しいと考える。

我々が業界団体のターゲットとして最適と考えるのはSDGsの理念に沿い、ゴールに対し明確なKPI（数値目標：Key Performance Indicator）を設け、各企業に取組みを促すことである。

SDGsではSDG6「安全な水とトイレを世界中に」・SDG13「気候変動に具体的な対策を」・SDG14「海の豊かさを守ろう」・SDG15「陸の豊かさも守ろう」が環境保全に該当する。

その一つとして、気候変動には業界団体としての二酸化炭素排出削減目標を設定し、海や陸の保全には各環境保全団体へ企業からの寄付金を拠出、又RSPO認証等認証油を大きくアピールし消費者への認知を広げ使用量拡大へ後押しする等が考えられる。

但し、各企業に二酸化炭素排出抑制目標の設定や森林資源保全のための寄付金拠出等CSR活動の延長では企業負担が増大するだけで持続的な活動になりにくい。

そこで業界団体として営利的な事業活動に取り組めば、加盟企業も恩恵を受け持続的な活動とすることが可能となるのではないかと考える。

### 5-3-2 環境保全に繋がる包括的ビジネスモデル

#### 5-3-2-1 環境対応型製品の市場定着化を目指して

環境に対してのビジネスモデルが日本で構築できないのは、購買層である一般消費者の環境意識レベルの低さが一因にある。環境意識が高い国では、比較的高額であっても環境負荷の少ない製品やサービスが選択される。しかし日本では、ハイブリッド車が普及した際に垣間見えた通り、ハイブリット車の特徴である燃費の良さについて、大半の人は金額換算しお得であるという認識が占め、環境負荷低減につながるという意識で購入した人は少ないはずである。日本ではコストパフォーマンスが前提であり、環境負荷低減は付加価値と捉える傾向が強い。逆に環境負荷低減に大きく役立つ技術もコストが合わなければ市場での活躍機会はない。そこで解決方法を「付加価値」と「環境意識」の側面から提案する。

一つは油脂業界として製品や原料に環境負荷低減の付加価値を大きくしていくことである。例えば油脂業界と自動車業界が連携し、異業種における企業の共同開発を旗振りし、再生油を使用したコストパフォーマンスの良い燃料と適応した車を開発、政府からは燃料税の軽減や何か税制優遇措置を受けられるよう交渉するなど、一企業や一団体では難しいことを連携することにより再生油利用の裾野を広げ事業として促進環境負荷低減を図る。

もう一方では一般消費者の環境意識を変えることから始めなければならない。環境意識を変えるには、環境に対しての教育が必要となってくる。現在では若年層を中心に環境教育（エシカル消費等）が若干行われている程度であるが、業界団体や企業連合から幅広い層に対して環境教育を実施し価格が若干高くても環境負荷の少ない製品が売れる市場の開発に努めるべきである。反対に環境負荷の大きい製品やサービスがコストパフォーマンスに優れていても否定される市場であることが必要だ。

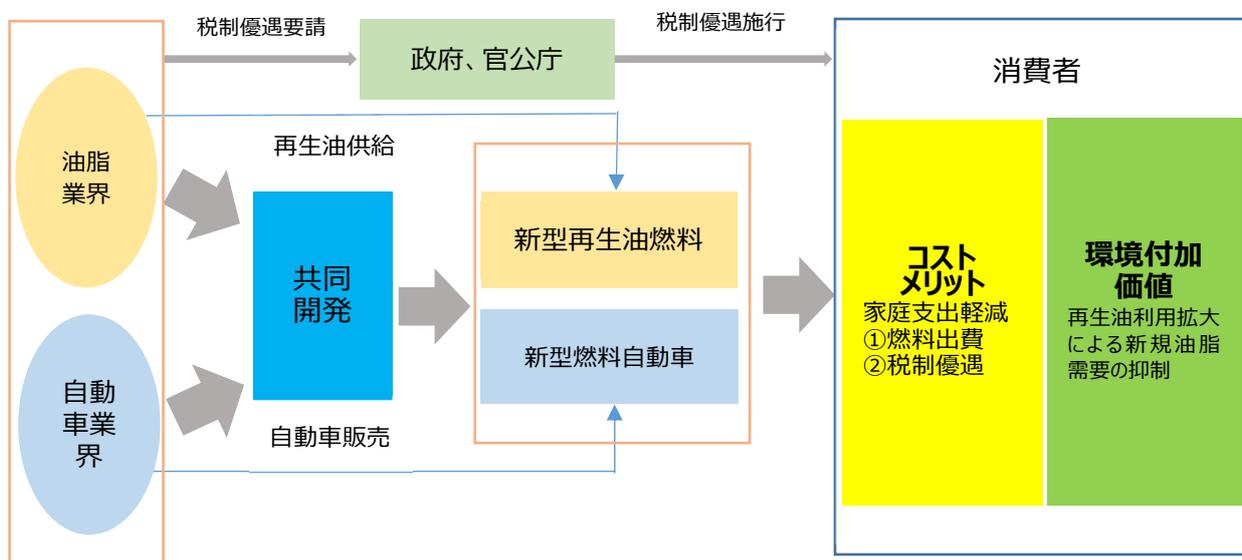


図5-2 環境付加価値向上モデル

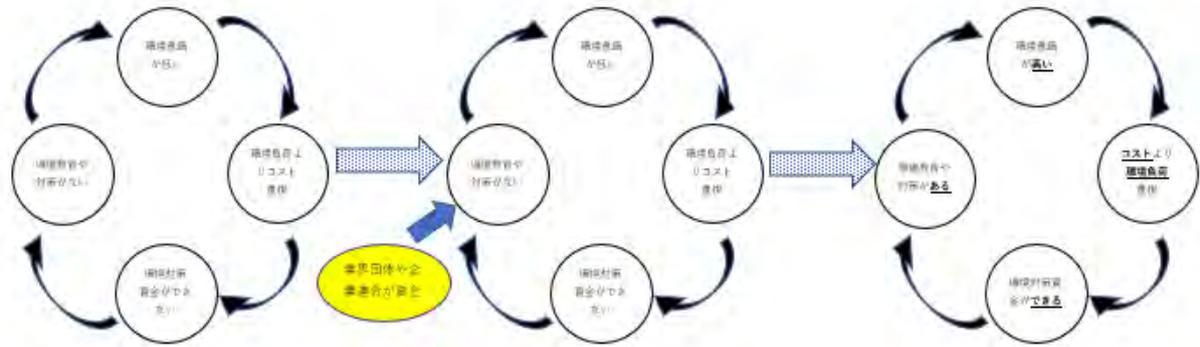


図5-3 環境意識サイクルの変換

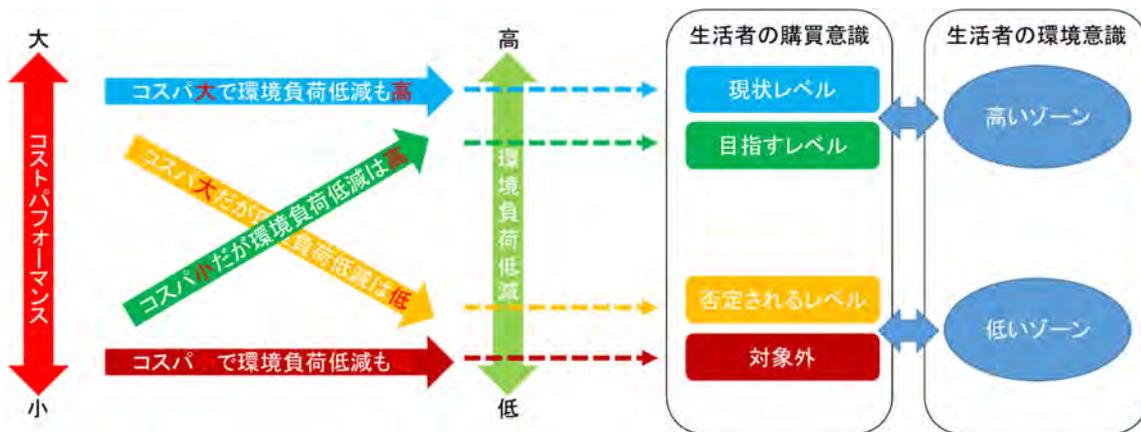


図5-4 生活者の環境意識レベル相関図

5-3-2-2 包括的ビジネスの展開により「負の連鎖」を「正の連鎖」へ転換  
業界団体や企業連合が直接的に気候変動への具体的対策事業に取り組む。

例えば、

提案1：新規代替油脂の開発会社を設立し開発資金を油脂業界団体加盟企業が拠出、開発会社の利益は出資額で分配する。企業の取り組みだけでは限界があるので、産官学連携も視野に業界として本腰を入れて開発をする。代替油脂が広まれば主要油脂原料の需要を抑制することができる。

提案2：森林保全として、業界団体がRSPO等各油脂原料の認証機関に加盟し各企業へ認証油脂を斡旋することで単独加盟より割安に認証油調達できれば、普及の促進を促すこととなり認証油の使用量が増大、認証機関への資金供給量も増え、資金を得た認証団体は認証油の生産農園を拡大し統制のとれた農園開発を拡大する。農園開発が拡大すれば認証油の供給量が増えコストを下げられる。

コストが下がれば消費国でより認証油が拡大する。RSPO等認証油への切替が進むなか業界団体へ加盟している企業は持続的に増加する認証コストを下げられるメリットを受けつつ、大規模農園が拡大することで包括的な管理を進み小規模農家の無秩序な開墾を抑制すれば単収が上がり新たな農地開発が必要なくなる。

上記2つの提案は「負の連鎖」に対して直接的に取り組むことで、事業として採算性を確保しつつ「負の連鎖」を「正の連鎖」へサイクルを転換することができる。

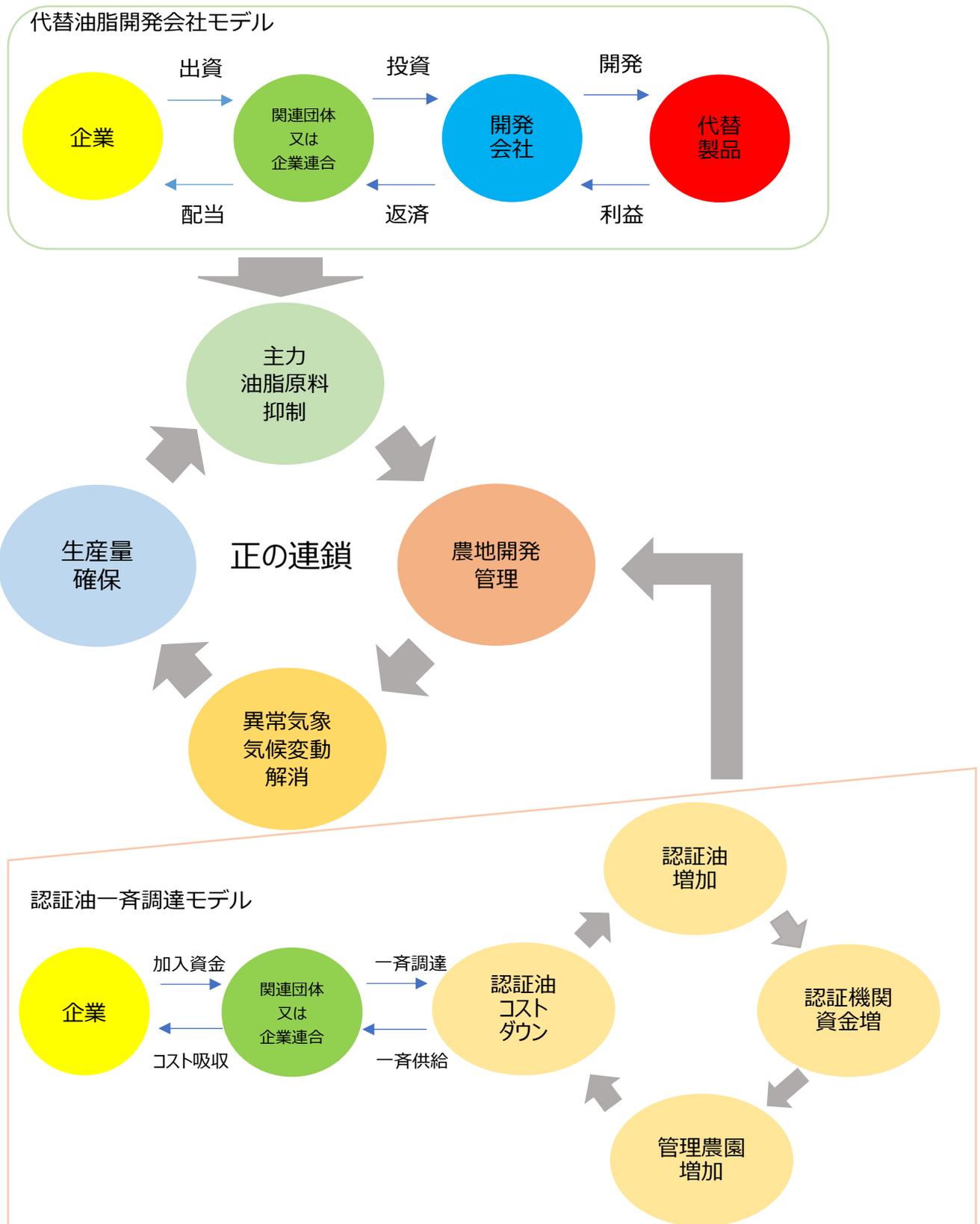


図 5 - 5 「正の連鎖」への直接的取り組み

以上、いずれにしても我々はSDGsをターゲット及び事業機会と捉え各企業ではできない大きな取組みを業界団体や企業連合で展開し、環境保全を慈善活動でなく事業活動とし、環境負荷の少ない製品が価格より優先される市場の構築を目指し環境意識を変化させることに取り組み、「今のままではダメ」ということをしっかりと示すことが今後の持続的な油脂原料調達に繋がるものとする。

今こそ油脂業界はリスクに対し先行対応するべき時期であり、リスクを放置し顕在化した時には持続可能な調達は不可能になると考える。

## 第6章 おわりに

令和として最初となる第19回目の研究会では「気候変動及び異常気象リスクを見据えた油脂原料の獲得」をテーマに議論をすすめるにあたり、まず、現状を把握するために「油脂原料の動向」「気候変動と異常気象とは何か」「油脂原料の持続可能な調達にどのような課題があるのか」について、そして最後に「各課題に対して現在及び将来的な対策は講じられているのか」「その中で油脂産業界はどのように貢献できるのか」について議論を重ねた。

今回の研究会での一番の肝は、我々が見出した「負の連鎖（図3-16）」から如何にして脱却し、「持続可能な油脂原料の調達」を早期に実現できるのかである。調査の中では、「負の連鎖」に対し企業単位での対策があることは判明したが、それを包括的に管理する機関や仕組みの存在を確認するまでには至らなかった。

そこで、我々は各課題に対し個別で解決するだけでなく、解決のスピードを速めるためには包括的な管理が必要と捉え、その両輪でのアクションこそが「負の連鎖」への緩和や解消に繋げるには効果的ではないかと考えた。

具体的なアクションプランとしては、

- ①油脂産業界が主体となりタスクフォース（業界団体等）を設定する
  - ②世界的規模で推進しているSDGsの理念（思想）に沿いゴールに対し明確な数値目標を設定する
  - ③各企業間の連携を強化し事業活動として進める
- である。この活動こそが、「負の連鎖」へ導くリスクを抑制でき、「正の連鎖」へ、つまり「持続可能な油脂原料の調達」に繋がっていくものとする。

最後に、約1年間、異なる会社のメンバーが一つのテーマをきっかけに、様々な議論を交わすことができました。同業者でありながら、担当分野が違ふそれぞれの仕事の進め方や考え方を相互に尊重し合うことで、メンバー間の絆が深まり、それが一体感を生み、全員でテーマに挑戦することができました。このような貴重な機会を与您いただきました。一般財団法人油脂工業会館及び参加企業の関係者の方々に深く感謝申し上げます。

謝辞：

本研究会を推進するにあたり、研究会メンバーをいつもサポートいただいた一般財団法人油脂工業会館 事務局の小林豊久様、秋山順子様がこの場をお借りして深く感謝申し上げます。

参考資料・ホームページ：

- ※01 : World Population Prospects : The 2017 Revision  
各年 7 月 1 日現在の推計人口及び将来推計人口 (中位推計値)
- ※02 : OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027 - © OECD 2019)
- ※03 : 気象庁 ホームページ  
(<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/3-1.html>)
- ※04 : 気象庁 ホームページ  
(<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/faq/faq19.html>)
- ※05 : バイオウェザーサービス ホームページ  
(<https://www.bioweather.net/column/essay2/aw00.htm>)
- ※06 : 全国地球温暖化防止活動推進センター ホームページ  
([https://www.jccca.org/global\\_warming/knowledge/kno02.html](https://www.jccca.org/global_warming/knowledge/kno02.html))
- ※07 : IPCC 第 5 次報告書 第 1 作業部会報告書 政策決定者向け要約 気象庁訳 P3
- ※08 : IPCC 第 5 次報告書 第 1 作業部会報告書 政策決定者向け要約 気象庁訳 P4
- ※09 : IPCC 第 5 次報告書 第 1 作業部会報告書 政策決定者向け要約 気象庁訳 P6
- ※10 : 気象庁 気候変動監視レポート 2018 P14
- ※11 : 気象庁「世界の天候データツール」  
(<https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/monitor/climatview/frame.php>)
- ※12 : 世界経済のネタ帳  
([https://ecodb.net/commodity/palm\\_oil.html](https://ecodb.net/commodity/palm_oil.html))
- ※13 : WWF ホームページ
- ※14 : 農林水産省 ホームページ  
([https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/jki/j\\_zyukyu\\_kakaku/](https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/jki/j_zyukyu_kakaku/))
- ※15 : 日本経済新聞 電子版 (2019 年 8 月 29 日付刊)  
「アマゾン火災欧州・ブラジルとの対立、経済にも波及」  
(<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO49181960Z20C19A8FF2000/>)
- ※16 : アミタ株式会社 ホームページ コラム「おしえて！アミタさん」  
(<https://www.amita-oshiete.jp/?hdside>)
- ※17 : 全国地球温暖化活動防止センターより抜粋
- ※18 : 環境省「第 5 次評価報告書 統合報告書 政策決定者向け要約」
- ※19 : *Nature*, **564**,201-206(2018)
- ※20 : 環境省「第 5 次評価報告書 第二次作業部会報告書 技術要約」
- ※21 : 独立行政法人農業環境技術研究所 「研究成果速報 (2012 年 9 月)」
- ※22 : *Scientific Reports*, **5**, article number:14457(2015)
- ※23 : *Ecology and Evolution*, **8**(1): 452-461(2018)
- ※24 : WWF ジャパンホームページ  
(<https://www.wwf.or.jp/>)
- ※25 : REDD+ ホームページ  
(<https://www.reddplus-platform.jp/about/>)
- ※26 : REN21 GLOBAL STATUS REPORT 2019
- ※27 : アジア太平洋資料センター「パームオイル 近くて遠い油のはなし」資料集
- ※28 : MPOC『Oil Yields in 2016』

- ※29 : 東南アジア研究,55 巻 2 号 2018 年 1 月  
「アグリビジネスのグローバル化とパーム油産業の構造変化」
- ※30 : 一般社団法人海外産業植林センター  
「平成 27 年度 海外における遺伝子組換え樹木植林実態調査報告書」
- ※31 : Oil World ホームページ  
(<https://www.oilworld.biz/>)
- ※32 : USDA ホームページ USDA Feed Grains Database
- ※33 : USDA ホームページ USDA Economic Research Service
- ※34 : FAOSTAT ホームページ 各作物の単収より計算
- ※35 : 日本植物燃料株式会社 ホームページ
- ※36 : 公益財団法人国際緑化推進センター ホームページ
- ※37 : 全国油脂事業協同組合連合会 ホームページ
- ※38 : 水産庁 パンフレット  
「藻場・干潟の二酸化炭素吸収・固定の仕組み～ブルーカーボンの評価～」
- ※39 : 公益財団法人笹川平和財団 海洋政策研究所 ホームページ
- ※40 : 一般財団法人新エネルギー財団 ホームページ
- ※41 : 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)  
「NEDO におけるバイオ燃料開発技術開発の取り組み」平成 27 年 7 月 7 日付
- ※42 : 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)  
「平成 30 年度バイオジェット燃料生産技術開発事業／技術動向調査／バイオジェット燃料の事業化の成立要件等に関する動向調査 成果報告書」  
報告書年度 2018 年、報告書管理番号 20190000000162
- ※43 : 月刊バイオインダストリー 2019 年 8 月号
- ※44 : C D P 気候変動レポート 2019 日本版
- ※45 : C D P フォレストレポート 2018 日本版
- ※46 : 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)  
「平成 28 年度石油産業体制等調査研究 (バイオ燃料を中心とした我が国の燃料政策のあり方に関する調査)」



後列左より

(株)資生堂	新日本理化(株)	花王(株)	(株)A D E K A
松野文雄	中崎公治	高野敏一	林 智彦

前列左より

三洋化成工業(株)	日油(株)	ライオン(株)	ミヨシ油脂(株)	第一工業製薬(株)
小林建太	石田栄一	夏川宗一	島津啓輔	川崎達矢

< 研究会メンバー >

リーダー	夏川 宗一	(ライオン株式会社)
サブリーダー	島津 啓輔	(ミヨシ油脂株式会社)
	石田 栄一	(日油株式会社)
	川崎 達矢	(第一工業製薬株式会社)
	小林 建太	(三洋化成工業株式会社)
	高野 敏一	(花王株式会社)
	中崎 公治	(新日本理化株式会社)
	林 智彦	(株式会社A D E K A)
	松野 文雄	(株式会社資生堂)

五十音順

# 気候変動および異常気象リスクを 見据えた油脂原料の獲得

一般財団法人 油脂工業会館

令和2年5月27日発行

東京都中央区日本橋三丁目13番11号

電話：03-3271-4307

Fax：03-3272-2230

<http://www.yushikaikan.or.jp/>