

油脂原料をどうする

～日本における油脂原料確保に向けた活動状況と今後の展望～

財団法人 油脂工業会館

油脂原料確保研究会

目次

序文

第1章	はじめに	1
第2章	油脂業界の全体像	
2-1	油脂の種類	2
第3章	世界における食料油脂事情	
3-1	原油価格	4
3-2	油脂の生産高と価格推移	4
3-3	世界の油脂需要量の推移	6
第4章	日本における食糧油脂事情と課題	
4-1	主要国の食糧自給率	9
4-2	主要国における一人当たりの油脂消費量	11
4-3	バイオ燃料の現状と今後の推移	11
4-4	油脂原料を取り巻く課題	12
4-4-1	油脂生産量の向上について	12
4-4-2	油脂原料と競合しない燃料について	12
第5章	日本における油脂原料確保に向けた活動状況と今後の展望	
5-1	油脂原料の効率的な活用（ムダの削減）	13
5-1-1	廃食用油の再利用促進	13
5-1-2	食品廃棄量の削減	14
5-2	食用油脂の燃料転用の抑制～食用油脂以外のバイオ燃料の活用～	16
5-2-1	日本におけるバイオエタノールの活用	16
5-2-2	日本におけるBDFの活用	16
5-2-3	日本におけるバイオガスの活用	17
5-3	国内における油脂生産量アップ	18
5-3-1	水耕栽培	18
5-3-2	油糧植物の品種改良	20
5-4	油脂自給率の飛躍的な向上を目指して～微細藻類の活用～	20
5-4-1	微細藻類（Micro Algae）とは	21
5-4-2	微細藻類によるバイオ燃料産生研究	21
5-4-3	今後に向けての提言	24
第6章	おわりに	26

序 文

2007年から2008年の中頃にかけて、小麦、トウモロコシ、大豆、コメ等、主要穀物の価格が急騰し、国際的に深刻な問題となりました。異常気象による減収、新興国での食糧需要の増加、そしてバイオ燃料向け需要増の需給要因に加え、巨額の投資資金が商品市場へ流入し、価格高騰にさらに拍車をかけました。穀物価格の高騰が、それらを主食とする発展途上国の一部地域で暴動や紛争を引き起こしたことは記憶に新しいところです。

農林水産省が平成21年1月に報告した「2018年における世界の食料需給見通し」によると、世界の穀物消費量は、人口の増加、所得水準の向上に伴い12年間で5億トン増加し26億トンに達すると予測されています。一方、生産量は単位面積あたりの収穫量が伸びることにより、増加すると予測していますが、消費量の伸びには追いつかず在庫量が低下し、その結果、穀物価格が上昇するとしています。この報告は、将来世界の食糧不足が深刻化し、需給がさらに逼迫して国際的な争奪に発展する可能性を示唆しています。

わが国の食糧自給率は熱量ベースで40%程度であり、他の先進国に比較して際立って低いことが問題視されております。農林水産省では食料・農業・農村基本計画を新たに策定するにあたり、食料自給率の向上を重点項目として掲げています。中でも油脂の自給率は13%であり、植物油脂にいたっては2%と非常に低い値となっています。油脂は食用そして工業用として私たちの暮らしになくてはならないものであり、輸入国であるわが国は、世界的な油脂原料の需給逼迫に備え、自給率の向上を含む油脂原料確保の施策につき検討する必要があります。

そこで、平成20年度の財団法人油脂工業会館の研究テーマとして「油脂原料をどうする」を取り上げ、合計23回の会合を重ね、日本における油脂の自給率を高める方法を検討し、その成果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ご努力に心から感謝いたします。

この報告書では、現在の油脂産業が取り巻く世界的な環境と、日本の油脂自給率を高める方法として、新しい油脂原料を提案しています。この報告書が油脂産業に携わっておられる業界、各社の方だけでなく、一般の消費者の方に油脂原料の将来について考えていただけるきっかけになれば幸いです。

平成21年4月

財団法人 油脂工業会館
理事長 宇野 允恭

第1章 はじめに

近年、石油などに代表されるエネルギー資源はもちろん、食糧資源、鉱物資源などあらゆる資源の需要増加に拍車がかかっている。この理由は、これまで世界需要を牽引してきた主要先進国とともに、新興国と呼ばれる国々が目覚ましい成長を遂げているためである。こうした世界的な需要急増は、様々な資源において争奪戦を引き起こしていると同時に、価格の乱高下の要因となっている。更に、地球温暖化など環境問題への影響も多大であり、正に地球規模での不安要因にもなっている。

こうした状況は、我々の生活に深く根ざしている油脂原料にも当てはまり、ここ数年、需給面はもちろん価格面でも大きな変動が起こっている。油脂原料の多くを輸入に頼っている日本は、他資源と同様にこうした変動に翻弄されており、この状況は長期的に継続すると考えなければならない。今後も、主要先進国はもちろん中国やインドといった巨大な市場、需要をもった新興国と資源の争奪戦を繰り広げなければならない状況を考えて時、油脂産業に関わる者にとっては日本の油脂原料の確保について大きな不安と危機感を抱かざるを得ない。また、日本が今後も安定的に油脂原料を確保し、油脂産業を発展させ続けるための方策を真剣に考えなければならない時期に来ているとも考える。

本研究会では、現在の世界及び日本の油脂原料を取り巻く状況の分析を行い、課題を明確にし、その課題解決に向けて何らかの提言が出来るよう、約1年を掛けて検討を重ねてきた。油脂原料そのものに関することはもちろんであるが、その枠を超えた部分でも油脂原料の安定確保に必要と考える分析や提言をすべく検討を行った。また、検討を進めるに当たっては、外部講師を招いての勉強会や、大学や外部研究機関の専門家の方に直接お話しを伺うなど、鮮度の高い情報入手や意見交換を心掛けた。

本報告書により、油脂産業に携わる方が日本の油脂原料の問題点について認識を深めて頂き、解決に向けた提言が、油脂原料の安定確保に向けた取り組みを強化する一助になればと願う次第である。

第2章 油脂業界の全体像

2-1 油脂の種類

油脂の分類方法には種々あるが、主には、その由来原料による方法、物理的/化学的性状による方法である。由来原料による分類では、油脂は大きく分けて植物油脂と動物油脂に分けることができる。また、用途の分類は大きく分けて食用と工業用に分類することができ、食用が多く占める。油脂は、炭水化物及びタンパク質とともに三大栄養素の一つに数え上げられている。

化学構造的にはグリセリンと脂肪酸のトリエステル（トリグリセリド）を主成分とし、他にジグリセリドやモノグリセリドも含む物質であり、グリセリドを構成する脂肪酸の多くは直鎖脂肪酸である。広く動植物から採取することが出来き、その油脂の種類としては、大豆油/パーム油/なたね油/ひまし油/あまに油などの植物油や牛脂/豚脂/魚油といった動物油が挙げられる。製造方法としては、それらの油種原料から圧搾、融出あるいは抽出などにより採取し、沈殿、酸アルカリ精製、白土処理等の処理を施すことで油脂が得られる。

油脂の物理的分類では、常温で固体のものを脂肪（一脂）、常温で液体のものを脂肪油（一油）と呼ぶ。また、乾性油/半乾性油/不乾性油とは、油脂のヨウ素価に起因するもので薄膜にし空气中に放置した場合、酸化・重合されて乾燥する度合いにより分類するものである。

食用用途ではマーガリン、ショートニング、ドレッシング、食用硬化油および精製ラード等に使用されている。

工業用途では、燃料用や潤滑油の配合成分としてそのまま使用される他、多くの場合、グリセリンと脂肪酸に分解され、更に、脂肪酸は、脂肪酸エステルや高級アルコールおよび界面活性剤の原料として使用される。油脂の工業用途は多岐にわたっており、最終製品としては洗剤、シャンプー・リンス、化粧品その他、樹脂の添加剤などに姿を変え我々の生活に大きく関わっている。

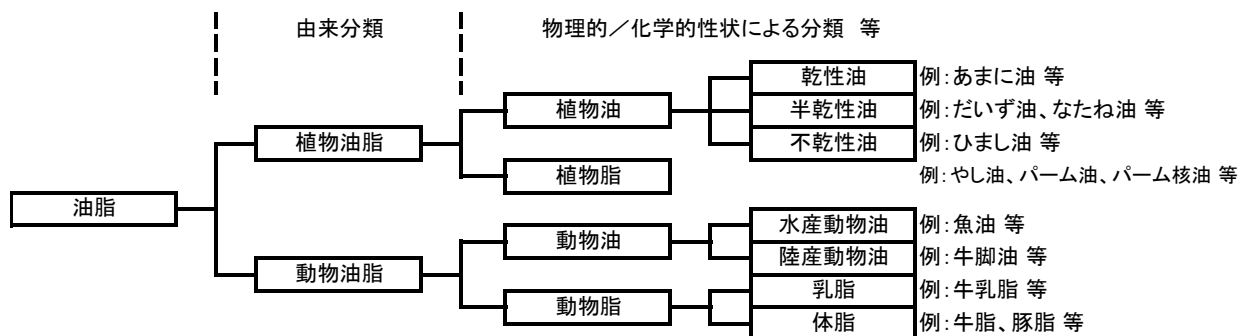


図2-1 油脂の種類

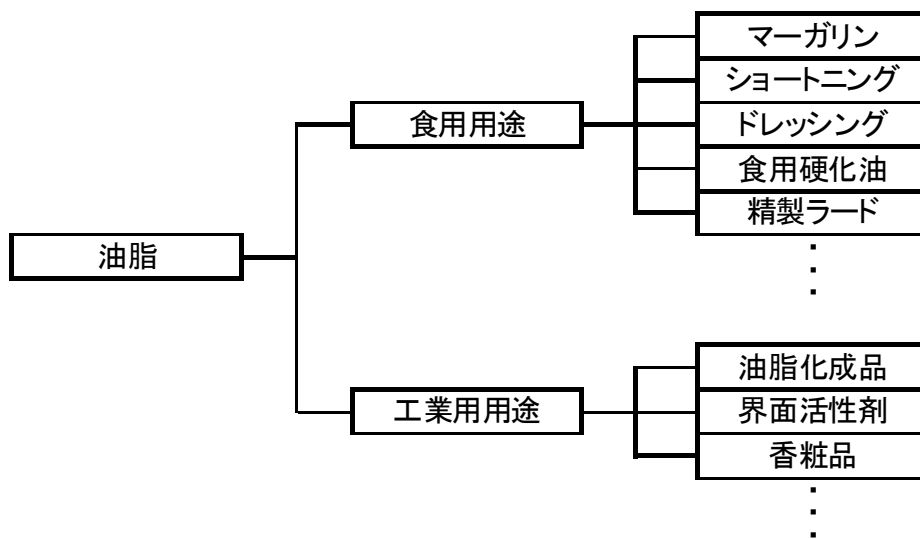


図 2 - 2 油脂の用途

第3章 世界における食糧油脂事情

3-1 原油価格

近年、中国、ロシア、インド等の新興国の需要増加と中近東での紛争等の地政学リスクの高まりにより需給がタイトになり、さらに大量の投機資金が流入し、WTIにおいては、2008年夏に147\$/BLを突破し、史上最高値を記録するほどの価格高騰が起こった。

しかしながら、2008年8月以降にリーマンブラザーズの破綻及び世界同時株安等の金融不安による景気後退懸念より、原油市場から投機資金が流出し、原油価格は急落した。短期的には、世界的な景気変動の影響により、乱高下し易い状況が続くと思われる。しかし、今後も世界的に原油需要増加は継続すること、且つ、原油はいずれ枯渇する資源であることから、長期的に原油価格が上昇することは確実である。また価格とは別に、世界的な原油争奪戦も激しさを増していくと予測されている。

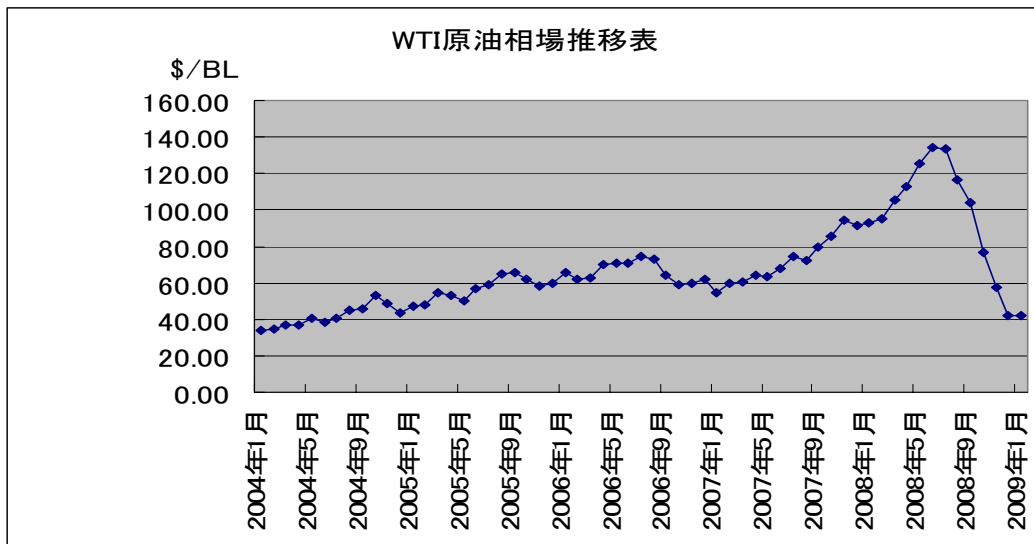


図 3-1 WTI原油相場推移表 (参考資料：日本経済新聞データ)

3-2 油脂の生産高と価格推移

主要油脂生産高は年々増加している。いずれも世界的な人口増加とそれに伴う需要増加が大きな要因となっている。主要5品種(だいたね油、なたね油、パーム油、ヤシ油、パーム核油)の2001年から2008年までの上昇率は152%と伸びている。その中でも、パーム油は175%、だいたね油は146%と大幅な伸長となっている。パーム油は、トランス脂肪酸問題から消費が大幅に伸びたこと、また、価格割安感があり、他の油種より収穫が安定していることから、2005年度にだいたね油の生産高を追い越し、生産高世界No.1の油脂となった。生産地が限られているにも関わらず大幅に伸長した背景は、マレーシア及びインドネシアなどの主産地での増産(=プランテーション増強)、品種改良などが挙げられる。なたね油においては、特にヨーロッパにおけるバイオディーゼル用途の増加が大きな要因であった。補助金も含めた政策による影響も大きい。

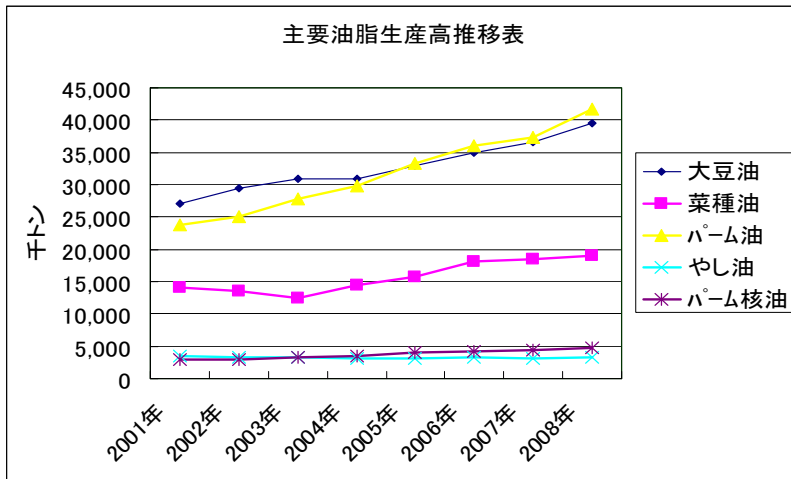


図 3-2 主要油脂生産高推移表

油脂の価格については、2000年以降では、2004年に生産量減少懸念から投機筋による大量買付けがあり高騰したが、それ以降2007年までは天候や需給などで多少の乱高下はあったものの、比較的安定した推移を示していた。

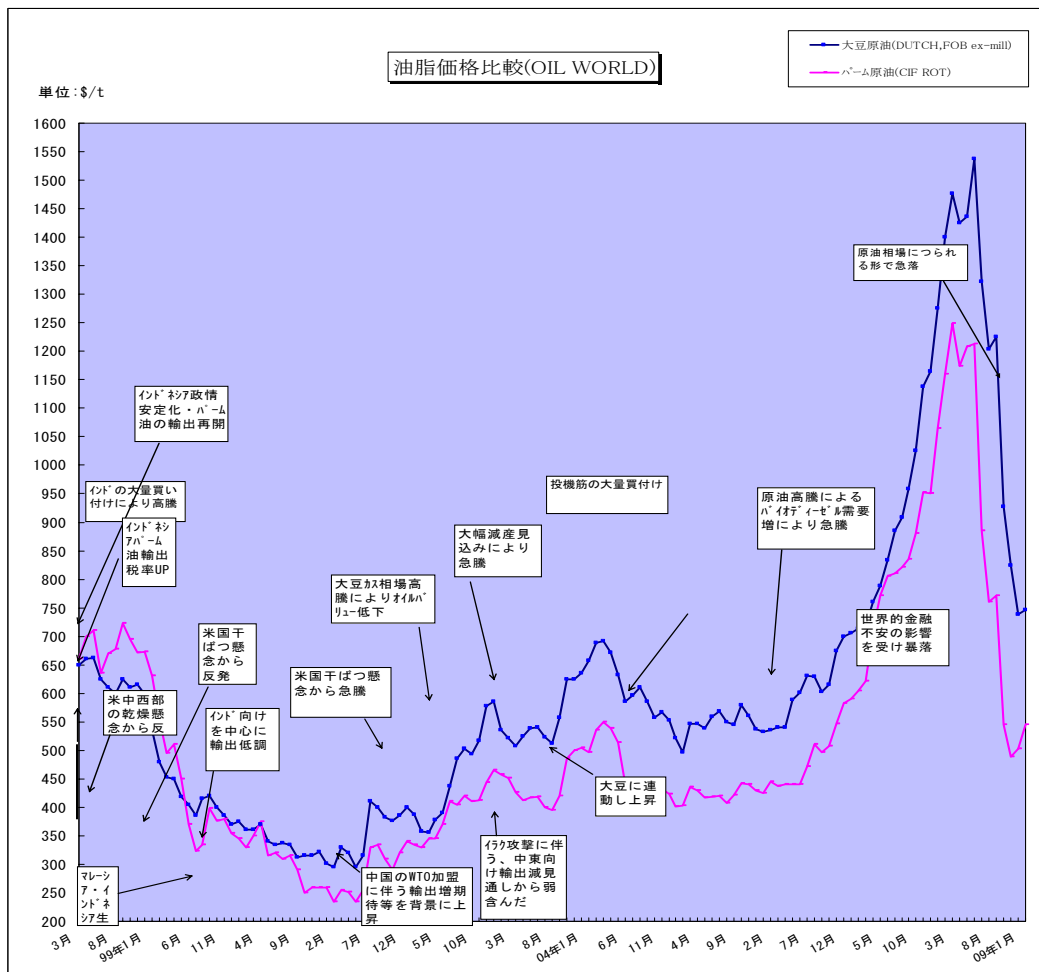


図 3-3 ヨーロッパ市場の油脂価格比較 (参考資料: OIL WORLD)

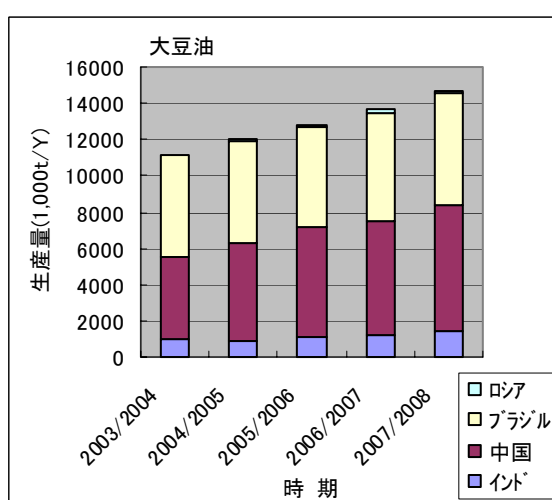
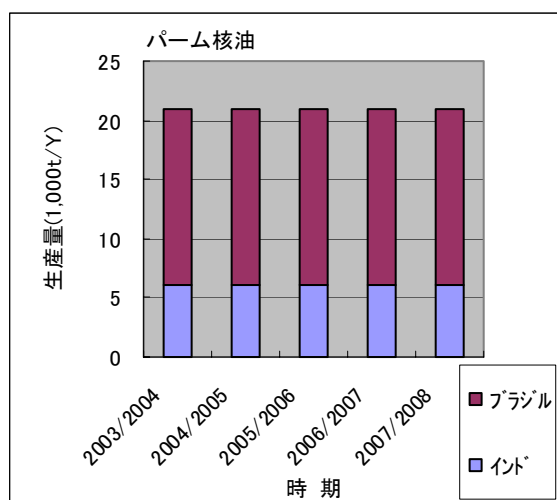
しかし、原油高騰及び地球温暖化問題から石化燃料の代替（バイオ燃料）として油糧油脂を使用する動きが欧州を中心に始まり、この動きがアジア地域にも波及していった。その結果、人口増加による既存用途の需要増加、及び代替燃料としての新たな需要の発生等から、植物油脂は原油価格に連動して高騰を続けた。

各油脂の増産により、生産・在庫とも安定して増加しているにも関わらず高騰を続けた要因は、やはり、原油相場と同様に投機資金の流入が挙げられる。しかし、2008年に史上最高値を付けた油脂相場（パーム油は08年3月4日にFOB 1,417.5\$/T、だいた油は08年3月3日に70.4¢/LB）は、原油価格と同様に、米国発の金融危機と世界的な景気後退により急落している。しかし、今後の油脂相場の動向も、原油と同じく長期的には上昇すると予測されている。

3-3 世界の油脂需要量の推移

現在、BRICs（ブラジル・ロシア・インド・中国）をはじめ、世界的に新興国と呼ばれる国が成長を続けており、世界では年間に約7,500万人の人口増加も続いている。当然ながら、人口増加に伴い、油脂需要も急激な増加を続けている。

新興国の中には、自国生産の多くを欧米など先進国へ輸出していたが、例えば中国のように、自国の消費が大きくなることで輸出国から輸入国へと変化する国もある。こうした新興国の多くは巨大な人口を抱えており、これまでの先進国とは比較にならないほど需給にインパクトを与え、新興国の多くが資源の囲い込みに走る場面も見られた。今後も新興国の成長が続くと見られ、油脂需要の増加継続と油脂資源の争奪も続くと思われる。



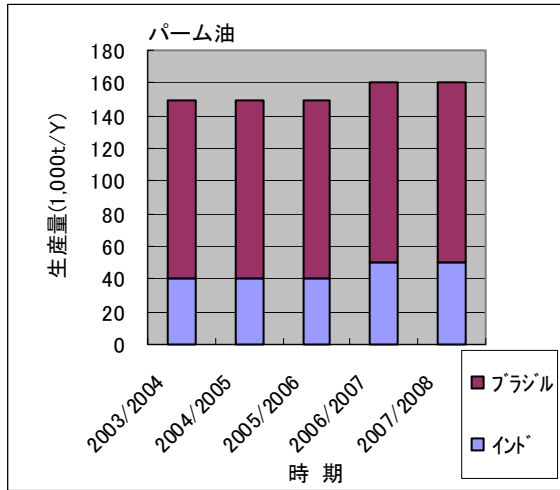


図3-4 油種別、BRICs生産量推移

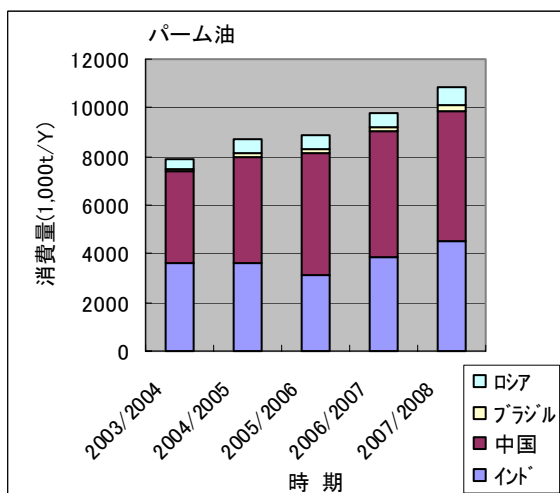
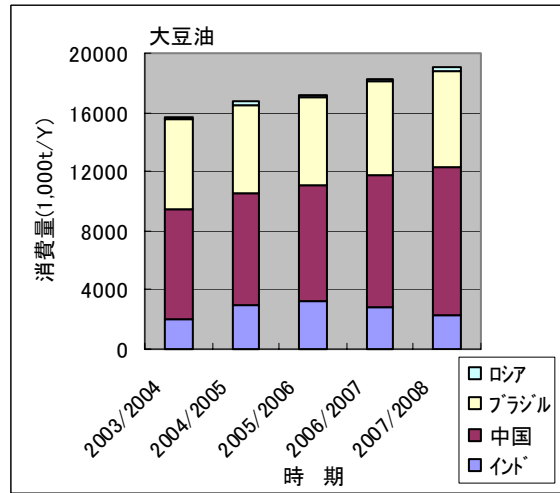
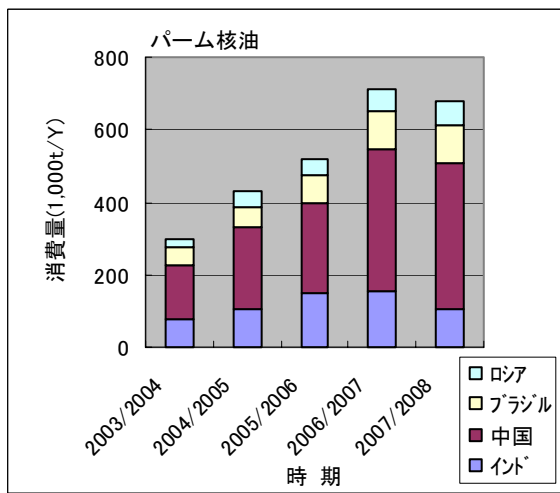


図3-5 油種別、BRICs消費量推移

世界の人口推移(国連「世界人口推計2004」)

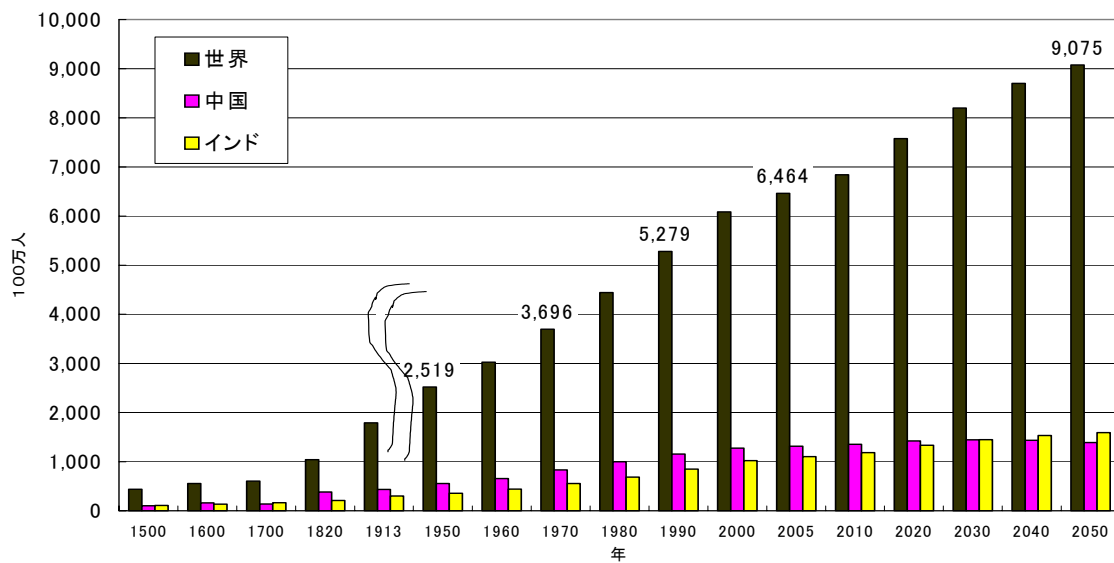


図 3-6 世界の人口推移 (出所: 国連「世界人口推計2004」)

第4章 日本における食糧油脂事情と課題

日本における動植物油の需要内訳は、2007年の総需要305万tの内、食用は251万t、非食用は53万tとなっている。日本における食用の割合は、82.3%と非常に多く、その確保は重要な問題である（参考資料：月刊油脂 油脂産業年鑑 2008年8月発刊）。また、日本は油脂の殆どを輸入に頼っているのが現状であり、世界の油脂市場が抱える環境、国策、相場によって大きく左右され、安定供給が保障されている訳ではない。2004年実績において、動植物油の輸入量は268万tである。これに対し国産の油脂は38.9万t（12.7%）である。そのうち植物油脂では輸入量256.4万tで国産の植物油脂は5.8万t（2.2%）とかなり低い自給率となっている（参考資料：農林水産省－我が国の油脂事情 2005）。従って、日本における油脂の安定確保を実現するためには、海外からの安定供給確保はもちろんであるが、国内における油脂の自給率を高める事が最も重要と思われる。また、油脂消費量の削減も有効な手段と考える。

4-1 主要国の食糧自給率

昨今の食料の世界的な高騰は、発展途上国を直撃し大きな国際問題となっている。日本のカロリーベースの総合自給率は、約40年前の1965年度は73%の水準であったが、その後は低落し、2006年度は39%と、半分近くにまで落ち込んでいる。アメリカ・フランスなど農業大国の3分の1以下に留まり、主要先進国の中で最低の水準となっている。

特に油脂の自給率は非常に低く、主要先進国の油脂自給率と比較すると、米国129%、フランス101%、ドイツ60%に対して、日本は需給率13%と極めて低い水準となっている。現在、途上国を中心に世界人口が増加し、途上国への食料支援の必要性が言われている。更に、地球温暖化問題から穀物が燃料として使用され始めている事、及びBRICSを含めた新興国の経済発展により油脂需要が増加を続けている事、生産地に偏りがある事など、ほとんどを輸入に頼っている日本においては、油脂原料の確保が益々困難になることは明白となっている。

表4-1 国別油脂自給率（参考資料：農林水産省「食料需給表」）

③ 品目別自給率（試算） （単位：％）

	年	穀類	穀類内訳			いも類	豆類	野菜類	果実類	肉類	卵類	牛乳・乳製品	魚介類	砂糖類	油脂類
			食用穀物	うち小麦	粗粒穀物										
オーストラリア	2003	333	434	497	220	98	409	96	97	158	99	180	44	249	248
カナダ	2003	146	290	311	99	144	164	59	17	132	96	103	90	7	173
フランス	2003	173	157	166	203	104	87	87	71	106	98	125	40	188	101
ドイツ	2003	101	104	108	97	119	10	44	37	96	78	117	21	129	60
イタリア	2003	73	64	57	81	55	21	122	106	78	102	71	28	55	49
オランダ	2003	24	27	29	20	120	0	282	18	210	160	130	65	116	19
スペイン	2003	68	70	67	67	44	13	159	143	111	114	81	55	68	90
スウェーデン	2003	122	113	120	133	76	102	37	3	82	92	91	108	114	42
スイス	2003	49	49	51	49	75	26	39	88	82	50	110	2	43	30
英国	2003	99	99	102	100	71	55	42	3	66	92	92	38	63	40
アメリカ	2003	132	198	207	121	92	143	96	77	108	102	96	77	86	129
日本	2003	27	60	14	1	83	6	82	44	54	96	69	50	35	13
	2004	28	60	14	1	83	6	80	40	55	95	67	49	34	13
	2005	28	62	14	1	81	7	79	41	54	94	68	50	34	13
	2006	27	60	13	1	80	7	79	39	55	95	66	52	32	13

（資料）農林水産省「食料需給表」、FAO「Food Balance Sheets」を基に農林水産省で試算した。

- （注）1. 穀類のうち、米については玄米に換算している。
 2. 食用穀物とは、小麦、ライ麦、米及びその他の食用穀物（日本はそばを含む）の合計である。
 3. 粗粒穀物とは、大麦、オート麦、とうもろこし、ソルガム、ミレット及びその他の雑穀（日本は裸麦を含む）の合計である。
 4. 牛乳・乳製品については、生乳換算によるものであり、バターを含んでいる。
 5. 魚介類については、飼肥料も含む魚介類全体についての自給率である。

表4-2 日本食料自給率推移（（参考資料：農林水産省「食料需給表」）

		(単位：%)											
		昭和	50	60	平成	12	13	14	15	16	17	18	19
		40年度			7年度								(概算)
品 日 別 自 給 率	米	95	110	107	104	95	95	96	95	95	95	94	94
	うち主食用					100	100	100	100	100	100	100	100
	小麦	28	4	14	7	11	11	13	14	14	14	13	14
	大麦・はだか麦	73	10	15	8	8	8	9	9	9	8	8	9
	いも類	100	99	96	87	83	84	84	83	83	81	80	81
	かんしょ	100	100	100	100	99	98	96	94	94	93	92	94
	ばれいしょ	100	99	95	83	78	80	81	80	80	77	76	77
	豆類	25	9	8	5	7	7	7	6	6	7	7	7
	大豆	11	4	5	2	5	5	5	4	3	5	5	5
	野菜	100	99	95	85	82	82	83	82	80	79	79	81
	果実	90	84	77	49	44	45	44	44	40	41	38	41
	みかん	109	102	106	102	94	96	98	104	99	103	94	99
	りんご	102	100	97	62	59	58	63	62	53	52	52	49
	肉類(鮭肉を除く)	90	77	81	57	52	53	53	54	55	54	56	56
	牛肉	95	81	72	39	34	36	39	39	44	43	43	43
	豚肉	100	86	86	62	57	55	53	53	51	50	52	52
	鶏肉	97	97	92	69	64	64	65	67	69	67	69	69
	鶏卵	100	97	98	96	95	96	96	96	95	94	95	96
	牛乳・乳製品	86	81	85	72	68	68	69	69	67	68	67	66
	魚介類	100	99	93	57	53	48	47	50	49	51	52	53
うち食用	110	100	86	59	53	53	53	57	55	57	60	62	
海藻類	88	86	74	68	63	62	66	66	65	65	67	71	
砂糖類	31	15	33	31	29	32	34	35	34	34	32	33	
油脂類	31	23	32	15	14	13	13	13	13	13	13	13	
きのこ類	115	110	102	78	74	75	77	77	78	79	81	83	
飼料用を含む穀物全体の自給率		62	40	31	30	28	28	28	27	28	28	27	28
主食用穀物自給率		80	69	69	65	60	60	61	60	60	61	60	60
供給熱量ベースの総合食料自給率		73	54	53	43	40	40	40	40	40	40	39	40
生産額ベースの総合食料自給率		86	83	82	74	71	70	69	70	69	69	68	66
飼料自給率		55	34	27	26	26	25	25	23	25	25	25	25

- (注1) 米については、国内生産と国産米在庫の取崩しで国内需要に対応している実態を踏まえ、平成10年度から国内生産量に国産米在庫取崩し量を加えた数量を用いて、次式により品目別自給率、穀物自給率及び主食用穀物自給率を算出している。

$$\text{自給率} = \frac{\text{国産供給量} (\text{国内生産量} + \text{国産米在庫取崩し量})}{\text{国内消費仕向量}} \times 100 \text{ (重量ベース)}$$
 なお、国産米在庫取崩し量は、12年度が24千トン、13年度が282千トン、14年度が243千トン、15年度が1,147千トン、16年度が374千トン、17年度が3千トン、18年度が178千トン、19年度が13千トンである。
 また、飼料用の政府売却がある場合は、国産供給量及び国内消費仕向量から飼料用政府売却数量を除いて算出している。
- (注2) 品目別自給率、穀物自給率及び主食用穀物自給率の算出は次式による。

$$\text{自給率} = \frac{\text{国内生産量}}{\text{国内消費仕向量}} \times 100 \text{ (重量ベース)}$$
- (注3) 供給熱量総合食料自給率の算出は次式による。ただし、畜産物については、飼料自給率を考慮して算出している。

$$\text{自給率} = \frac{\text{国産供給熱量}}{\text{国内総供給熱量}} \times 100 \text{ (熱量ベース)}$$
- (注4) 生産額ベースの総合食料自給率の算出は次式による。ただし、畜産物及び加工食品については、輸入飼料及び輸入食品原料の額を国内生産額から控除して算出している。

$$\text{自給率} = \frac{\text{食料の国内生産額}}{\text{食料の国内消費仕向額}} \times 100 \text{ (生産額ベース)}$$
- (注5) 飼料自給率については、TDN(可消化養分総量)に換算した数量を用いて算出している。

4-2 主要国における一人当たりの油脂消費量

日本の一人当たりの油脂消費量は年間 22.1kg で、主要国の中でインドの 12.7kg を除くと、欧州の 57.2kg や米国の 55.4kg 等と比べてかなり低い水準にある。メタボリックシンドローム等の健康上の問題があり、欧米の消費量ほどにはならないとしても、食の欧米化が進んでいくことを考えると、日本の油脂消費量も今後増加することは十分に考えられる。今後も日本の油脂消費量が増えることや新興国でも食の欧米化による油脂消費量の増加が続くことを考えれば、日本では自国生産量を増やさない限り、益々輸入原料に頼らざるを得ない。よって今後、日本においては、より効率的な油脂の消費が求められるのと同時に、使用量の削減も必要な状況にある。

表 4-3 一人当たりの油脂消費量（主要国別）（参考資料：OIL WORLD）

	①国別油脂消費量(千MT)	②人口(百万人)	③1人当たりの油脂消費量(KG)
EU-27	28,333	495.1	57.2
アメリカ	16,947	305.8	55.4
カナダ	1,412	33.1	42.7
ブラジル	5,966	191.8	31.1
ロシア	3,650	142.5	25.6
韓国	1,239	48.5	25.5
南アフリカ	1,198	48.6	24.7
中国	29,780	1,328.6	22.4
日本	2,822	127.8	22.1
インドネシア	5,091	231.6	22.0
インド	14,850	1,169.0	12.7

①出典 OIL WORLD (MAY 08)
 ②出典 統計局 HP
 ③計算根拠 ①÷②

4-3 バイオ燃料の現状と今後の推移

油脂原料の用途では食用が非常に大きな割合を占めているが、近年の傾向としバイオ燃料需要の増加が挙げられる。例として、EU27カ国において、なたね油に関するバイオ燃料比率は2000年に16%であったが、2008年には64%にも増加している。加えて2017年までに輸送用燃料の5.75%をバイオ燃料に切り替える目標がある。またブラジルでは、ガソリン（石油由来）とエタノール（植物由来）のいずれでも走る車が標準とされるなど、植物油がバイオ燃料として多く使用され始めている。

原油高騰問題、環境問題、資源国の国策など、複数の要因が絡んでの動きとなっており、単純に目先の需給論のみでは語れない状況でもあり、短期的な増減はあるかもしれないが、バイオ燃料は油脂原料への大きな圧力要因となり続ける事は間違いない。

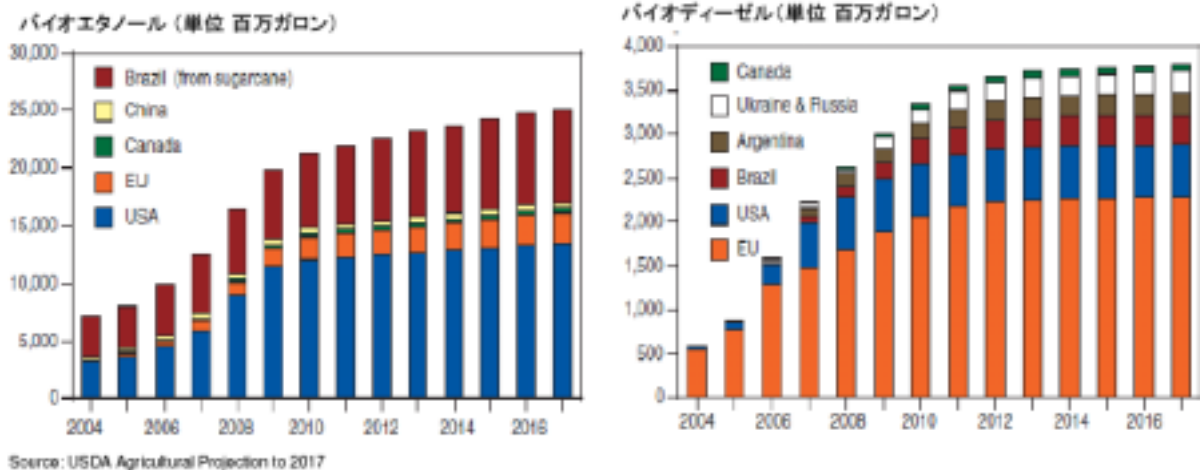


図 4-1 バイオエタノール、バイオディーゼルの国別の生産推移及び見通し
(出所：USDA AGRICULTURAL PROJECTION TO 2017)

4-4 油脂原料を取り巻く課題

先に述べてきた通り、今後の日本の油脂原料の確保に大きな影響を与える要因は、「世界的な人口増にとまなう油脂原料の取り合い」と「燃料向けの需要増」としてまとめられる。よって、日本が油脂原料の自給率を高める上での課題は、油脂生産量の増加、油脂原料と競合しない燃料の開発、および油脂消費における無駄をなくす事と言える。

4-4-1 (1) 油脂生産量の向上について

主要油脂3品(だいた油、なたね油、パーム油)において、いずれも食品用途が非常に大きな割合を占めている。世界的な人口増加の中、食用としての需要は今後も増え続けることが予想され、油脂原料が逼迫していく懸念がある。一方、工業用途に絞って見ても、中国、インド、ブラジルといった新興国の需要は増加の一途を辿っており、新興国が食用、工業用とも非常に大きな影響力を持っている。こうした消費大国は、一方で油脂原料の資源国でもあり、自国消費が増加して行けば、自国需要を優先することは容易に想像できる。

こうした資源国=消費国と原料の獲得競争を行わなければならない日本にとって、自国生産を含めた自給率の向上が課題である。

具体的には、既存油脂原料の生産量アップや新たな油脂原料の探索、創生が必要であると考えられる。既存油脂原料の生産量アップについては、近年その活用が指摘されている耕作放棄地の利用や新規生産方法の検討がある。また新たな油脂原料については、食用と競合しない油脂植物や藻類などの研究が実際に進められている。

4-4-1 (2) 油脂原料と競合しない燃料について

近年、原油高騰や環境問題から、油脂原料由来のバイオ燃料の需要が高まっている。しかしながら、その多くが食用原料としての側面を持つことから、燃料用途へ使用されることについて批判が出ている。よって今後は一定の歯止めが掛かると思われるが、やはり油脂原料と競合しない燃料を早急に創生し、油脂原料への影響を限りなく減らすことで、従来の需要に対する油脂原料を確実に確保できるような対策が必要となる。油脂産業と直接の関係は少ないが、こうした原料を探索、創生することが、引いては油脂産業の原料確保へ大きく貢献するものと思われる。

ここまで述べてきた現状分析と課題をもとに、第5章で課題解決へ向けた提言を行う。

第5章 日本における油脂原料確保に向けた活動状況と今後の展望

日本における油脂原料の安定確保のためには、以下の課題を解決することが重要である。

- ①油脂原料の効率的な活用（ムダの削減）
- ②食用油脂の燃料転用の抑制
- ③国内における油脂生産量アップ

これらの課題に対して日本において検討されている主な施策等を以下に示す。

- ①「廃食油の再利用促進」、「食品廃棄量の削減」による油脂原料の効率的な活用
- ②「食用油脂以外のバイオ燃料開発」による燃料転用の抑制
- ③「水耕栽培」、「品種改良」による油脂生産量アップ

上に示した施策に対する現状について説明し、我々の提言を述べる。さらに、これらの課題を抜本的に解決する施策として、「微細藻類の活用」に関する我々の提案を示す。

5-1 油脂原料の効率的な活用（ムダの削減）

5-1-1 廃食用油の再利用促進

①廃食用油再利用の現状

近年、廃食用油の燃料化としての利用も定着してきており、その有用性の認識が高まっている。2006年における国内の食用油消費量は、約240万トン/年であり、外食産業、および食品工業用として200万トンあり、そのうち約35万トンがUCオイル（廃食用油）として発生している。また、一般家庭用として約40万トンが消費され、そのうちUCオイルとして約10万トンが発生している。外食産業、および食品工業用から回収されたUCオイルは、飼料用に6割、工業用（石鹼、塗料）、燃料用に2割が利用され、すでに9割以上が再生利用されている。その反面、少量で品質にバラツキがある一般家庭用からの廃油はバイオディーゼル燃料（BDF）、石鹼等で1割程度の再生利用にとどまり、大半は台所から流されたり、新聞紙などに吸収、凝固剤で固めて燃えるゴミとして処理されているのが現状である。（図5-1参照）今後、廃食用油利用を促進するためには、少量で品質にバラツキが懸念されている一般家庭等から出される廃食用油の回収方法を含めた検討が必要と考える。

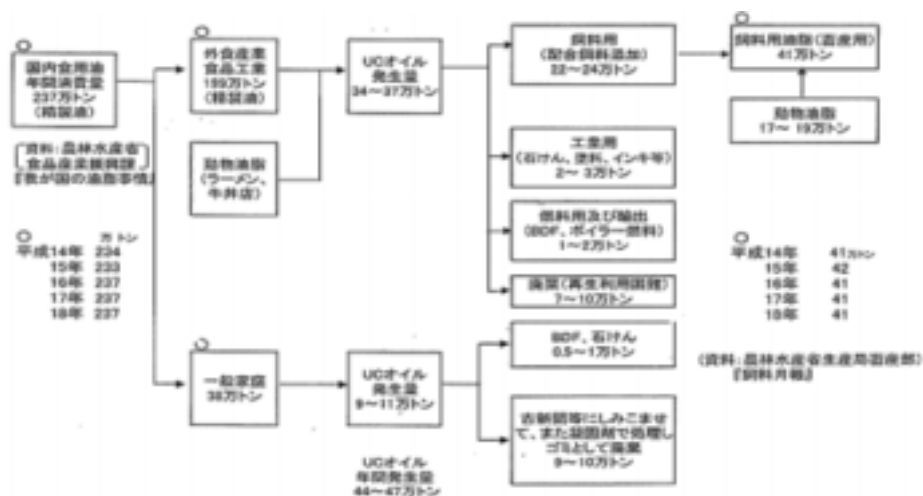


図5-1 UCオイルのリサイクルの流れ図
(出所：農林水産省生産局畜産部『飼料月報』)

各地の廃食用油のリサイクル技術開発と実用化のための取り組みについて紹介する。
 <事例>

十日町市では、2007年9月から、家庭で不要となった天ぷら油等の廃食用油を庁舎や公民館などの公共施設で回収していたが、4月から市内のガソリンスタンドで回収をスタートした。同様に保育所、学校や給食センターでも開始し、BDFに精製し、公用車に使用して、大切な資源としてリサイクルを推進している。



図5-2 廃油回収例

(出所：新潟県十日町市公式HPより)

今後は、自治体単位での家庭用廃食用油の回収からリサイクルの積極的な取り組みを進め、100%の活用の実現が必要と考える。そのためには、企業、自治体を中心となった回収システムの確立と学校行事や再利用化の現状見学会の開催など、一人ひとりが再資源化に興味を持つよう啓発活動を促進することが重要であるが、すでに廃食用油の8割以上が再生利用されており、油脂原料の確保に対する効果は小さい。

5-1-(2) 食品廃棄量の削減

現在、日本では食品の廃棄等による無駄が取りざたされており、無駄の削減がひいては油脂使用量の削減にも繋がると考えられる(表5-1、5-2参照)。

表5-1 スーパーにおける食品廃棄物の発生量、発生抑制等に関する公表情報の概要
 (出所：環境報告書2005データに基づく)

○ スーパー

企業名	イオン			イトーヨーカドー			ダイエー			西友			ユニー		
	店舗全体	全店舗の年間総発生量	5/5リサイクル率	全店舗の年間総発生量	5/5リサイクル率	全店舗の年間総発生量	5/5リサイクル率	グループ社全店舗の年間総発生量	5/5リサイクル率	全店舗の年間総発生量	5/5リサイクル率	全店舗の年間総発生量	5/5リサイクル率		
廃棄物の発生状況	食品廃棄物	52,221	2,223	4.3%	17,437	513	2.9%	16,707	-	16,505	1,825	9.8%			
	食品廃棄物の内訳	生ごみのリサイクル率23.4%													
	食肉	5,047	5,047	100.0%	3,748	3,076	82.1%	2,229	-	3,307	2,471	74.7%			
	廃食用油	2,908	2,908	100.0%	1,143	1,143	100.0%	690	-	1,144	1,023	89.4%			
	食品その他	-	-	-	-	-	-	-	-	1,089	0	0.0%			
計	60,176	10,178	16.9%	22,328	4,732	21.2%	19,826	-	22,045	5,119	23.2%	59% (食品廃棄物)			
発生抑制等の取組	データの提供	環境報告書2008	環境報告書2005	環境報告書2005	環境報告書2005	環境報告書2005	環境報告書2006、業が取り組	環境報告書2005							
	発生抑制の取組	・食品の廃棄物発生率を1.0%以下に抑制する目標設定	・廃棄物全体を3%削減(既存店対比)する目標設定 ・リサイクルを促進する「食品廃棄物リサイクル付加金制度」の創設	・ばら売り、量り売りの推進 ・計画的な食品加工	・商品の売上精度の向上、店舗でのバラ売り・計り売りの実施 ・品質保持の観点から売り場から撤去する商品を「エコマル商品」として従業員に割引販売	・店舗への廃棄物計量器の設置による分別の徹底									
リサイクルの取組	・食あんリサイクルの推進	・廃棄物全体のリサイクル率57%を達成する目標設定	・店舗に商品を供給する食品加工センターの食品廃棄物の堆肥化利用等の状況 ・店舗以外に加工センターにおける食品廃棄物の量やリサイクル率の削減	・東京の2店舗から出る生ごみを民間施設に委託し、メタン発酵を発生に利用 ・廃棄物全体のリサイクル率90%を2006年度以降の目標として設定	・JAグループと協力した地域循環型の食品リサイクル推進 ・店舗で乾燥させた食品廃棄物を原料とした堆肥で栽培した大根を店舗で割身ツマミとして利用										

(注)各社の環境報告書等の公表情報から計算により求めた数値を載せている場合がある。

表5-2 コンビニエンスストアにおける食品廃棄物の発生量、および発生抑制等に関する公表情報の概要（出所：環境報告書2005データに基づく）

○ コンビニエンスストア

企業名	セブン-イレブン	ローソン	ファミリーマート	サークルKサンクス	ミニストップ	am/pm	デイリーヤマザキ
	1店舗1日当たりの発生量 (kg/日)						
食品廃棄物の発生状況	14.7	15.2	15.9	15.8	16.2	18.5	13.5
発生抑制等の情報	74.1	52.2	62.0	67.0	60.0	57.7	36.9
データの根拠	環境報告書2005 (東京都内1,143店舗の2004年の平均値(生ごみのみ23区内844店舗の平均値))	環境報告書2006 (広島市内6店舗における2005年度の毎日実測の平均値)	環境報告書2006 (東京都内24店舗の7日間の平均実測値)	環境報告書2005 (東京都内24店舗の7日間の平均実測値)	環境報告書2006 (都内約100店舗の計量平均値)	環境報告書2006 (2005年8月の調査調査に基づく試算値)	企業からの聞き取り結果 (エリア代表41店舗の年間(2005)平均値)
発生抑制の取組情報	・デパート商品の卸売のチェック回数を1日3回から9回に増やし、前倒して売り場から取捨した商品の販売ロス削減 ・売り場から取捨した商品(消費期限まで時間あり)の試食品としての有効利用	・商品の製造段階において「生産加工管理システム」を導入した工程管理の改善によるロス削減 ・店舗でコンピューターを利用し、曜日、天候、地域行事等を考慮した商品発注によるロス削減	〔具体的な取組の記載なし〕	〔具体的な取組の記載なし〕	〔具体的な取組の記載なし〕	〔具体的な取組の記載なし〕	・惣菜パン、お弁当などの食材を共有化させ、食材アイテム、製造ロスを削減 ・食材を小ロット化し使い切りによるロスの削減 ・「厨房専用機導入」を導入したシステム化による製造工程の管理を通じた廃棄物発生抑制
リサイクルの取組情報	・販売期限切れ商品等の堆肥化リサイクル実施 ・産官学連携の食品残渣と肥料化実験の実施	・一部エリアで実施していた店舗の廃食用油リサイクルを全国に拡大予定 ・首都圏店舗において生ごみ処理機を実験導入	・販売期限切れ商品等を肥料化・飼料化する「生ごみ回収リサイクルシステム」、ならびに廃食用油を肥料化する「廃食用油リサイクルシステム」の導入拡大	・飼料業者、処理業者と共同で食品残渣を加えた配合飼料による肥育等試験の実施 ・JA、農家、処理業者等の協力を受け、食品残渣からできた堆肥で栽培したタマネギを非常食材として利用	・食品廃棄物を養豚用飼料として利用を開始 ・廃食用油を石けん用等に100%リサイクル	・都内23区内では個々の店舗の廃棄物を一括して処理する「am/pmリサイクル」を稼働 ・販売期限切れ商品などの生ごみの堆肥化を開始	・フライヤーの廃食用油のリサイクルシステムの導入拡大
全店舗の食品廃棄物発生量(試算値)	5.8万トン	4.6万トン	4.0万トン	3.6万トン	1.1万トン	0.9万トン	0.9万トン

(注1)ファミリーマート、デイリーヤマザキの数は、年間排出量で公表されているものを1日当たり換算している。
(注2)全店舗の食品廃棄物発生量(試算値)については、1店舗1日当たりの食品廃棄物の量に基づき環境省において試算したものである。

食品のムダは、消費者の安全意識の高まりや味の低下に対する厳しい要求が原因と考えられる。実際のムダは、①必要以上に短い消費・賞味期限、②欠品を避けるための過剰な生産や仕入れ、③外見上の問題や包装の印字ミスなど品質に影響が無い規格外品の発生、④外食店での多すぎる注文や家庭での食べ残しなどが原因と言われている（毎日新聞）。賞味期限とは、“定められた方法により保存した場合において、期待される全ての品質の保持が十分に可能であると認められる期限を示す年月日をいう。但し、当該期限を越えた場合であっても、これらの品質が保持されていることがあるものとする”と厚生労働省の食品衛生法に定義されている。賞味期限は基本的に製造業者が科学的根拠に基づいて、独自に製品ごとで決められているが、消費者やユーザーを意識して早めに設定されているのが現状であり、この期限を延ばすことで無駄は軽減できる。ただし、各製造業者のみで、賞味期限を延ばすことは行いにくく、業界単位での対応が望まれる。また海外では賞味期限ではなく製造年月日のみが記載されている国が多く、消費者の責任において消費されている事から、日本においても、賞味期限そのものを廃止し、消費者の責任において消費するやり方もある。それらには、消費者の賞味期限に対する正しい理解が必要であり、製造業界、流通業界が一丸となって対応する必要がある。また国での法改正やガイドラインなどの後押しも必要と考える。賞味期限が延びれば、過剰な生産や仕入れも軽減されると思われる。また、過剰生産、規格外品の発生は製造業者の企業努力によって解決する問題として考えられるが、業界を挙げての取り組みも重要と思われる。現在、農林水産省などでも取り組みが始まっており、業界から国への働きかけを行うよう提言したい。

5-2 食用油脂の燃料転用の抑制 ～食用油脂以外のバイオ燃料の活用～

バイオ燃料とは、石油や石炭といった化石燃料と異なり、生物起源であるバイオマスを経済化したものである。その原料は、家畜糞尿、下水汚泥・し尿汚泥、食物系廃棄物、農業残渣、木質系バイオマス、エネルギー作物に大別され、得られるエネルギーの形態は、気体（バイオガス、燃料ガス）、液体（バイオディーゼル、バイオエタノール、BTL、エコ軽油）、固体（炭、木質固形燃料）がある。これらの中で現段階において最も現実的で有効性が認められているのは、バイオエタノール、バイオディーゼル燃料（BDF）と言われている。

米国では2007年に「エネルギー自立・安全保障法（Energy Independence and Security Act of 2007）」が成立し、再生可能燃料を2022年までに360億ガロン（13,626万キロリットル）まで拡大させる計画を進め、このうち150億ガロンを上限として、食糧であるとうもろこし原料からのバイオエタノール、残り210億ガロンをとうもろこし以外のセルロース系原料からのバイオ燃料で賄う計画を立てている（参考資料：Energy Independence and Security Act of 2007）。また、日本では2010年までにバイオエタノールを含めたバイオ燃料50万キロリットル（原油換算）の導入を目標としており、食用油脂の安定確保のためにも食糧以外の原料からの活用を促進していく必要がある。

現在、日本の食糧自給率は40%以下まで低下し、さらに一戸当たりの経営耕地面積（販売農家）は都府県平均で1.36haしかない状況にある（参考資料：農林水産省統計情報）。このような高コスト体質の日本におけるバイオ燃料の活用は、人件費や土地の豊富な海外とは異なる日本独自の方針の下で推進していく必要がある。

以下、食用油脂の確保や将来的な油脂の自給率向上の観点から、今後の日本のエネルギー問題を解決するバイオ燃料開発について所見と提言を述べる。

5-2-（1） 日本におけるバイオエタノールの活用

バイオエタノールへの変換が可能な化合物は、デンプン質、糖質、セルロースである。近年の世界の国別エタノール生産量はアメリカ、ブラジルの上位二カ国が群を抜いて大きい。その原料はさとうきびやとうもろこしなどの食料作物が主なものとなっている。日本においても未利用農地で生産した農作物からのバイオエタノールの開発が進められているが、日本で農作物からバイオエタノールを生産した場合、海外品に比べて価格競争力がないため、結局は化石燃料と同じく輸入に頼らざるを得ない公算が高い。

日本におけるバイオエタノールの開発として最も可能性が高いのは、食糧作物と競合しない廃棄物の活用である。特に製材所の端材など木質セルロース系廃棄物は、エネルギー賦存量として2,000万トン／年以上あると言われ、最も可能性が高いと考えられる。廃棄物の再利用にもなり、原料費もほとんどかからないことから、コスト競争力を持てる可能性がある。

現在、木質系セルロースからエタノールを得るための課題は、発酵を容易にさせるための前処理（加水分解）技術を開発することであり、アメリカでは国家的プロジェクトとして支援を受けたノボ社やジェネンコア社が効率的にセルロースを分解する酵素を開発し、世界を一步リードしている。アメリカの後塵を拝することがないよう、日本においてもセルロース系バイオマスに的を絞った技術開発を今まで以上に推進することが重要である。

5-2-（2） 日本におけるBDFの活用

BDFの原材料は、ヨーロッパにおいては主になたね油、北米ではだいず油、東南アジアではヤシ油、パーム油である。これら食糧作物のBDFへの利用は、食糧資源確保の観点以

外に森林伐採・生物多様性の維持などが社会問題化している。日本における燃料用油脂の生産は非現実的であり、またBDFの利用量はバイオエタノールの数十分の1程度であることから、日本でのBDF活用は今後も主流になることはないと予想される。世界のBDF開発の動向として、非食用油脂であるナンヨウアブラギリ (*Jatropha curcas*: 以下「Jatropha」と呼ぶ) の利用が大きな注目を集めている。

Jatropha 油の脂肪酸組成はヤシ油やパーム油に比べて不飽和分が多いことから流動点は低く、BDFに利用しやすい可能性がある(表5-3参照)。また Jatropha は、毒性物質(ホルボールエステル等)を含有する非食用油脂であることからパーム、菜種等の食糧作物と競合せず、価格変動の影響を受けにくい。さらに乾燥・荒地でも耕作しやすいことから特にアフリカ、インドなどの貧困地域において、農業活性化による生活改善の目的で世界銀行が積極的に融資、支持活動を展開している。現在、多くの企業が参入を検討しており、特にD1オイルズ社とBritish Petroleum社は共同出資による合併企業を設立し、年間200万トンのJatropha油を生産すると発表している。

日本におけるBDF開発は主流とはなり難い状況にあると予想されるが、日本での活用を考えた場合、クリーン開発メカニズム(CDM、Clean Development Mechanism)の利用を提案したい。CDMとは、温室効果ガス排出削減目標を達成するために導入された柔軟性措置の一つであり、先進国の資金や技術支援により、発展途上国において温室効果ガスの排出削減等を行う事業を実施する制度である。現在、南アフリカ共和国やタンザニアにおいてJatropha生産の事業化を目指したプロジェクトが進められている。安定供給の確保やCDMの濫用による温室効果ガス削減技術開発の停滞懸念など課題も多いが、日本におけるBDF開発としては最も可能性がある施策と考えられる。

表5-3 主な油脂の脂肪酸組成

(参考資料: Minor oil crops FAO Agricultural Services Bulletin 94(1992))

油脂	脂 肪 酸 (%)											
	C8:0	C10:0	C12:0	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0 C22:0	C20:1 C22:1
廃食油				1	3	1	10	50	15			
ヤシ油	5-9	4-10	44-51	13-18	7-10		1-4	5-8	1-3			
パーム核油	2-4	3-7	45-52	14-19	6-9	0-1	1-3	10-18	1-2		1-2	
パーム油				1-6	32-47		1-6	40-52	2-11			
だいたね油				0.3	7-11	0-1	3-6	22-34	50-60	2-10	5-10	
なたね油					2-5	0.2	1-2	10-15	10-20	5-10	0.9	50-60
あまに油				0.2	5-9		0-1	9-29	8-29	45-67		
Jatropha油				0-0.5	12-17		5-6	37-63	19-40			

5-2-(3) 日本におけるバイオガスの活用

バイオガスは気体燃料のため扱いが困難であり、また組成の半分近くが二酸化炭素であることからエネルギー効率が低くバイオエタノールやBDFに比べてあまり注目されていない。しかし、地産地消を前提とした場合、生ゴミなどの食品廃棄物や家畜糞尿からのバイオガス生産は魅力的な技術となる可能性を秘めている。国内の食品廃棄物、家畜糞尿、下水汚泥から計算されるバイオガス賦存量は、現在、国内で使用しているLPガスの半分程度にもなると試算されている(参考資料: NEDO「バイオマステクノロジー・ロードマップ策定に関する調査」)。自治体単位で原料の選定や最適生産方式を構築することで、初期投資額を抑制し、収益性の高いバイオ燃料となる可能性がある。廃食用油と同じく、日本独自の地産地消ビジネスに展開できる可能性があることから、自治体主導での推進を期待したい。

参考資料：

燃料か食料か バイオエタノールの真実 坂内 久、大江 徹男著 日本経済評論社
最新バイオ燃料の基本と仕組み 井熊 均、バイオエネルギーチーム著 秀和システム

5-3 国内における油脂生産量アップ

5-3-1 水耕栽培

油脂自給率を上げる方策の一つとして油糧植物の栽培による油脂の確保が挙げられる。日本の耕地面積は469万haであり、油糧植物の栽培できる面積は限られているのが現状である。

また、現在農業で利用している場所に油糧植物を栽培することは、他の農作物の自給率を下げる結果となるため利用することはできない。比較的利用が可能と思われる場所として、耕作放棄地(38.6万ha)を活用した多段栽培(ビル農業)が挙げられる。これは、水耕栽培の一つで、植物を栽培する栽培ベットの何段にも重ねて栽培する方法であるため、その段数分だけ耕作面積も増えて効率的である。以下に水耕栽培の現状と課題について述べる。

①水耕栽培の利点

水耕栽培は土を使わずに建物内で植物を栽培するシステムで、以下の様な利点がある。

- 天候や気象変化の影響を受けにくい
- 安定した計画生産が可能である
- 露地栽培と違い連作障害の心配が無い
- 農薬が低減でき、害虫などの心配もなくなる
- 季節によらず生産の制御が可能になる

栽培する植物の特性に応じて室内温度を制御することで一年草の二毛作、三毛作を行い、収穫量を増加することが可能となる。この植物工場をより安価で効率的なシステムとして確立することが植物油脂の自給率を上げるカギと考えられる。

②植物工場の現状

植物工場は、早くから欧米では幾つかの工場が存在しており、1957年よりクレス(アブラナ科:クレソン)のsprout一貫生産を始めたデンマークのクリステンセン農場が最初だといわれている。水耕栽培は、一部太陽光を利用した太陽光利用型と太陽光は一切使用しない完全制御型に別れる。両栽培方法の日本での普及は、既に太陽光利用型でカイワレ(アブラナ科)、ミツバ(セリ科)、葉ネギ(ネギ科)があり、完全制御型ではモヤシ(マメ科)、キノコなどがある。一部普及しているものでは太陽光利用型、完全制御型の両方でサラダ菜(キク科)、リーフレタス(キク科)、ハウレンソウ(アカザ科)、ハーブなどの葉菜類、野菜の花と苗が栽培され、太陽光利用型ではトマト(ナス科)、イチゴ(バラ科)、バラ(バラ科)などがあり、ほとんどの野菜は、技術的には栽培可能といわれている。実際には太陽光利用型では、大型水耕温室によるカゴメのこくみトマトの生産があり、完全制御型では三浦農場、JFE土浦グリーンファーム、キューピーなどの葉菜類の生産が挙げられる。また人材派遣会社(株)パソナが就農者の斡旋、社内の厚生施設として2005年に大手町野村ビル地下2階に“パソナオーツ”という植物工場を公開している。そして三菱化学は中東で野菜工場を事業化する予定であり、経済産業省ではLEDなどを利用した植物工場のモデル施設を同省別館ロビーに設置した。更に三菱総合研究所が植物工場のビジネス参入における支援などを行う目的で植物工場研究会を立ち上げ、事業としての可能性を客観的に評価し、参入を検討してい

るメーカーに対して情報提供を行っている。また、2008年6月、農林水産省と経済産業省が農商工連携等促進法を施行し、年末に両省共同で農商工連携研究会を発足、その中の一つとして植物工場の活性化が選択された。以上のように植物工場は産業として検討が進められており、現在、技術とコストが両立している植物種については、実用化されている状況にある。

③油糧植物種の選定

水耕栽培においても日本の環境に適した油糧植物種の選定が、栽培コスト（光熱費等）の観点から重要である。輸入植物油脂の中で輸入量が多いのはパーム油、やし油、パーム核油、だいち油、なたね油、こめ油、ひまし油、オリーブ油である。この中で椰子、パームは熱帯性の樹木であり、オリーブは地中海沿岸で栽培されている高木である。どちらも日本での栽培には適さず、また多段栽培にも向かない。こめ油は日本での稲作による生産余剰の利用などが考えられ、また室内での栽培は、かなりの光量が要求されるため水耕栽培には向かない。従って、大豆（マメ科）、菜種（アブラナ科）などが水耕栽培品種の候補と考えられる。

④設備の選定

植物工場とは”野菜や苗を中心とした作物を施設内で光、温湿度、二酸化炭素濃度、培養液などの環境条件を人工的に制御し、季節や場所に関係なく自動的に連続生産するシステム“であり、植物の成長にとって重要な要因である。個々の植物に必要な光スペクトルと光強度や温度、湿度、二酸化炭素濃度等の最適化。培養液に必要な養分の種類と濃度、pH、温度、液量、溶存酸素濃度などの培養液循環システムの確立。栽培ベッドの選定や空調設備、建物構造の検討と大規模化。そして栽培方法を完全制御型ではなく、太陽光を取り入れた太陽光利用型にして使用電力等を低減するなど、栽培方法と設備の最適化が必要となる。

光、温度、土壌について、それぞれ栽培する油糧植物種固有の栽培条件に合わせて栽培環境を整えなければならない。

⑤耕作放棄地での栽培

2004年のなたね油の輸入量は、99.6万tであり、これを全て日本で栽培した場合、必要となる面積は146.6万haとなる（参考資料：農林水産省－農業経営統計調査H11、長野県農政部）。これは、日本の耕作放棄地の3.8倍に当たり、多段栽培方式で3.8段という事になる。また、菜種は寒さに当たらないと開花しないため、冷蔵などで開花させる技術を確認すれば4ヶ月でサイクルを終える事が可能となる。その場合は、三毛作になるので年間のなたね油生産量は3倍となり、植物工場での段数は1段強となる。そして、油脂特性を無視して、日本の動植物油脂輸入量268万tを全てなたね油の三毛作栽培で賄う場合、3段重ねで全輸入量の栽培が可能となる。ただし、植物工場で生産した場合は、建物の建蔽率や栽培室の面積により段数は増える。

⑥まとめ

菜種、大豆等の油糧植物を植物工場で栽培するには、かなりのコストが掛かることから採算が取れず商業化には至っていない。採算の取れる植物工場を実現するには、設備内での養蜂や種のかすなど、生産から生じた副産物の有効利用がカギとなる。

将来の人口増加や温暖化により油脂原料の確保が困難になることを想定した採算性の高い植物工場の開発の推進が今後の日本にとって重要な課題である。

(参考資料：完全制御型 植物工場 高辻正基 ((株)オーム社))

5-3-(2) 油糧植物の品種改良

油脂の安定確保の方策として、油糧植物を品種改良して収量を高める方法が考えられる。植物の品種改良には交配、種間交雑、細胞融合（プロトプラスト融合等）、形質転換（遺伝子組み換えなど）が挙げられる。近年では、特に遺伝子組み換えが盛んに行われており、短期間で確実に改良できる手段として利用されている。現在、害虫抵抗性や除草剤耐性を狙った多くの遺伝子組み換え作物が開発されている。これらの商品は、害虫に対する抵抗性を上げたり、除草剤耐性を付与することによって収量増加につながっている。今後は、遺伝子組み換えによる植物単体の収量を高める品種の開発を期待する。これらの技術で収穫量がアップすれば、植物工場での生産量向上にも寄与するものと考えられる。

ただし、遺伝子組み換え作物は、生態系への影響や安全性が懸念されている。主に生態系への影響は、花粉の飛散による野生種等との交雑を懸念したものである。これらの課題を解決する方法として、花粉を作らない雄性不稔形質の開発による花粉飛散防止やプラスミドを利用した遺伝子組み換えによる花粉内への転換遺伝子混入の回避、および閉花性（開花せず蕾の中で受粉する）を利用した試みがなされている。

遺伝子組み換え食品の安全性における日本での許認可は、厚生労働省の審査において、挿入遺伝子の安全性、産出されるタンパク質の有害性の有無、アレルギー誘発性の有無などの審査を経ているため安全とされている。また、食用油脂では遺伝子、タンパク質は製造段階で除去されている。しかし、これら遺伝子組み換え作物が利用された歴史がないことから、消費者には受け入れにくい状況にある。その為、第一段階として、遺伝子組み換え作物をオレオケミカル分野で利用する事を提案したい。但し、とうもろこしなど既に遺伝子組み換え作物の割合が増えて分別が不可能になった作物も出てきている。また、世界の人口増加による食糧難の解決方法としても重要視されており、将来的には遺伝子組み換え作物の利用は回避できない状況になると考えられる。従って、生産性を上げる技術開発と安全性を高める技術開発、および消費者の理解を得るための啓発活動を積極的に進めることが日本に定着させるためのカギと考える。

5-4. 油脂自給率の飛躍的な向上を目指して ～微細藻類の活用～

地球環境問題、石油枯渇問題などの観点から、循環型環境調和エネルギーとしてバイオマスエネルギーの研究が盛んに行われている。その中でも近年特に注目されているのが微細藻類によるオイル（脂質）の産生である。微細藻類の中には、細胞内にヒドロカーボン、リン脂質、トリグリセリド等のオイルを多く蓄積するものが知られており、ヒドロカーボンはジェット燃料に、トリグリセリドは脂肪酸メチルエステルに変換しディーゼル燃料へ応用する研究などが進められている。新エネルギーとして注目されている理由として以下の点が挙げられる。

- 空気中のCO₂を炭素源とし、太陽光を利用した光合成により炭素を固定化
- 火力発電所、その他工場から排出されるCO₂を炭素源とすることも可能
- 工場排水、生活排水を培地として利用することも可能
- 従来の油糧植物に比べて水の使用量が少ない（オープンポンド式、フォトリクター式）
- 将来的には海水、海洋の利用も期待できる
- 増殖速度が非常に速く、1日に複数回細胞分裂するものが知られている

- 生物体に占めるオイル比率の高いものが知られている
- 土地面積あたりのオイル産生量が既存の油糧植物に比べて多い
- 荒廃地、遊休地、海洋等を利用することで、新たに森林を伐採する必要がなく、CO₂排出工場に隣接して設置することも可能
- 食糧と競合しない

これまでの微細藻類の活用研究は何れもバイオ燃料産生を主目的として進められているが、本研究会では、ある種の微細藻類が長鎖不飽和脂肪酸を有する油脂を高濃度で産生することに注目し、微細藻類活用による油脂の供給・価格の安定化、更には自給率アップの可能性について検討を行った。

5-4-(1) 微細藻類(Micro Algae)とは

藻類は水と二酸化炭素から太陽エネルギーにより炭水化物を作る際に酸素発生型光合成を行う主に水中で生息する生物であり、今回注目している大きさが10~30ミクロン程度の微細藻類は数万種いるといわれている。生命活動により得られた脂質を細胞内に多く蓄積することで浮力を得て、海水の表面近くを漂い太陽の光を吸収すると考えられている。微細藻類は植物プランクトンとして食物連鎖の最初を司る重要な食糧源であり、また太古に蓄積されたものは石油へと変化した。

5-4-(2) 微細藻類によるバイオ燃料産生研究

① アメリカエネルギー省(DOE)での研究

(参考資料: A Look Back at the U. S. Department of Energy's Aquatic Species Program ; Biodiesel from Algae(1998) <http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24190.pdf>)

アメリカではカーター政権時代に石油危機への対応のため、国家プロジェクトとして代替エネルギーの研究が進められ、DOEに所属する再生可能エネルギー研究所(The National Renewable Energy Laboratory)において、微細藻類による燃料油産生研究が1978~1996年に行われた。このプロジェクトにおいては、淡水系、海水系併せて10万株以上が評価され、優良株3000種が見出され、そのうちの一部は現在も維持培養されている。実験プラントでの検討結果から、当時の原油価格の約2倍で生産できる可能性があるとしたが、石油危機の終焉とともにプロジェクトは終了した。

その後の石油価格の大幅な変動、地球環境への意識の高まりから、現在、アメリカにおいてはベンチャー企業を中心に、実用化に向けた開発研究が盛んに進められている。更に、2009年に誕生したオバマ政権がグリーンニューディール政策を打出したことで、再生可能エネルギーである微細藻類産生油の実用化、商業化に向けた技術開発が更に活発になるものと思われる。

② 日本における取組み

日本においても第1次石油危機への対応として、当時の通産省が中心になり1974年に始まったサンシャイン計画、更には地球温暖化の議論より1993年に始まったニューサンシャイン計画において『細菌・藻類等二酸化炭素固定化、有効利用技術開発』として取組まれた。ニューサンシャイン計画においては優良株として *Chlorella* sp. UK001、*Botryococcus braunii* SI-30 が報告されているが、実用化に向けてはアメリカと同じく、石油危機の終焉とともに道半ばで終了している。

このような経緯の中、(独) 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業CREST(Core

Research for Evolutional Science and Technology)の2008年度の新規テーマとして『オイル産生緑藻類 *Botryococcus* (ボトリオコッカス) 高アルカリ株の高度利用技術』(代表 筑波大学大学院生命環境学研究科渡邊信教授)が採択され、微細藻類によるバイオ燃料産生の本格的な研究が新たなスタートを切った。研究期間は2008年10月～2014年3月、予算として計3.5億円が計上されている。渡邊教授は、代替エネルギーの実用化に向けた研究が、社会情勢によって研究が始まったり途絶えたりするのは問題であり、人類、特に石油資源を持たない日本には絶対に必要な技術であるとの思いから、石油価格が安定していた2004年に研究を着手されている。研究の内容を以下にまとめる。(08年10月14日渡邊教授研究室訪問)

○ 土地面積当たりのオイル生産量を比較すると、藻類はとうもろこしの700倍、最も生産が高いと言われているパームに対しても20倍程度の生産性が期待できる。

表5-4 植物オイル生産性の比較 (出所 渡邊信 2007年つくば3Eフォーラム資料より)

Tons of Oil / ha / Year	
とうもろこし	0.2
大豆	0.5
べにはな	0.8
ひまわり	1.0
あぶら菜	1.2
パーム	6.0
微細藻類	47-140

○ 注目しているのは淡水性の *Botryococcus braunii* という種で、重油相当の炭化水素の生産性が高いことと併せて、生産した油を体外に分泌するという特長を有しており、油を取り出すのに有利である。

表5-5 微細藻類のオイル含量

(参考資料: Yusuf Chisti, *Biotechnology Advances* **25** 294-306(2007))

Microalga	Oil content (% dry wt)
<i>Botryococcus braunii</i>	25-75
<i>Chlorella</i> sp.	28-32
<i>Cryptothecodinium cohnii</i>	20
<i>Cylindrotheca</i> sp.	16-37
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Isochrysis</i> sp.	25-33
<i>Monallanthus salina</i>	>20
<i>Nannochloris</i> sp.	20-35
<i>Nannochloropsis</i> sp.	31-68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35-54
<i>Nitzschia</i> sp.	45-47
<i>Phaeodactylum tricomutum</i>	20-30
<i>Schizochytrium</i> sp.	50-77
<i>Tetraselmis sueia</i>	15-23

表5-6 *Botryococcus braunii* のオイル含量
(出所 渡邊信 2007年つくば3Eフォーラム資料より)

Strains	炭化水素量% (oil weight/algae dry weight)	比増殖速度 (μ /d)
BOT 17	40.8	0.078
BOT 45	21.1	0.187
BOT 71	42.3	0.066
BOT 88-2	45.3	0.158
BOT 124	25.1	0.330
BOT 144	45.7	0.200
SI 30	15.9	0.150

○実用化に向けての課題

- ・オイル含有量と増殖性に優れる培養株の確保

この2点は相反する性質であり、両方を満足することが必要となる。アメリカは1980年代の研究で優良株3000種を見出し、そのうちの300種を現在も保有している。渡邊教授は国内の種を中心に300株を調べ、生産性に関しては先のニューサンシャイン計画の報告値より優れ、アメリカDOEの公表株に匹敵する2種を得ているが、多様性を考えると更に多くの優良株を確保する必要がある。

- ・高アルカリ領域で増殖する培養株の確保

効率よく空気中の炭素を固定化するには培養液中のCO₂濃度を高める必要がある。そのためにはCO₂溶存量を高められるアルカリ領域で生産性の高い株を確保する必要がある。

- ・光制約を解除できる培養株の確保

光制約とは、培養液中で藻類の濃度が高くなると太陽光の吸収効率が低下し、細胞の増殖が抑制される事である。渡邊教授は、太陽光による生育と同時に、排水を利用して炭化水素を与え、高い藻類濃度でも効率的なオイル産生が可能な培養系を検討中である。

○種々の仮定のもとではあるが、藻類によるオイルの産生は、投入エネルギーより高いエネルギーが得られること、排出CO₂量より吸収CO₂量のはるかに多くなるという結果が得られている。

○安価なオープンポンド方式でも、現状では原油価格(30円/リッター = US\$50/barrel)の5倍のコスト(約155円/リッター)が見積もられ、50円/リッター以下を実現するには、生産性を更に10倍上げる必要がある。そのための研究をCRESTの中で、生物学系、化学系、工学系でチームを作り推進中である。因みに、欧米のベンチャー企業が進めている閉鎖型フォトリアクター方式は、現状では700円/リッターと推定される。

○石油代替資源(バイオ燃料)の研究が第1の目的ではあるが、CRESTのテーマは『オイル産生緑藻類*Botryococcus*高アルカリ株の高度利用技術』であり、燃料油以外の有用物質の探索、産生の研究も併せて行なわれている。高機能性油脂、化粧品用途の素材などの高付加価値成分を併産することで、燃料油自体の価格も低減できると考えられる。絞りかす活用なども含め、生産プロセスの全体最適化も価格低減のためには重要となる。

渡邊教授より、食糧油脂やオレオケミカルへの微細藻類の応用について、産業界と共同で進めていく可能性はあるとの話を伺った。

さらに、本研究会では、理化学研究所 守屋バイオスフェア科学創成研究ユニットリーダー 守屋繁春氏から情報を収集した（09年1月14日訪問）。守屋先生は微細藻類によるオイル産生の研究に着手されたところであり、富栄養化水域での藻類育成による排水浄化を目指し研究を進められている。微細藻類活用による食糧油脂の産生に関して大変興味を示され、産業界の要望を是非詳しく聞き、研究に活かしたいとのことであった。

これらの研究以外にも、慶応義塾大学先端生命科学研究所と㈱デンソーが共同で取り組んでいる *Pseudochorocystis ellipsoidea* を用いた軽油相当燃料油の研究、さらには徳島県内の産学グループ（四国大学短期大学部 西尾幸郎教授他）が取り組んでいるイカダモを用いたバイオディーゼル燃料の研究など、日本においても多くの研究機関でバイオ燃料の有力な生産手段として、微細藻類の研究が進められている。

5-4-(3) 今後に向けての提言

微細藻類から産生される脂肪酸の組成としては、炭素鎖長が10、14~22のものが報告されており、不飽和脂肪酸含有率、及び不飽和度は既存食用油脂に比べて高い。

表5-7 微細藻類から産生される脂肪酸組成

(参考資料: Oiang Hu, *et al.*, The Plant Journal **54** 621-639(2008)

Minor oil crops FAO Agricultural Services Bulletin 94(1992))

植物油脂/微細藻類油脂	脂肪酸(%)											
	C10:0	C14:0	C16:0	C16:1	C16:2,3	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3,4,5	C20:0 C22:0	C20:1 C22:1	C20:4,5 C22:5,6
パーム油		1-6	32-47			1-6	40-52	2-11				
だいた油		0.3	7-11	0-1		3-6	22-34	50-60	2-10	5-10		
なたね油			2-5	0.2		1-2	10-15	10-20	5-10	0.9	50-60	
あまに油		0.2	5-9			0-1	9-29	8-29	45-67			
<i>Cyanophyta T.e</i>	27-50	7.2	11-17	4-7		2-6	4-11		6-19			
<i>Eustigmatophyta N.sp</i>		6.9	19.9	27.4			1.7	3.5	4.9			34.9
<i>Eustigmatophyta M.s</i>		2.3	20.2	30.5		0.6	4.5	2.0	1.0			37.1
<i>Chlorophyta C.s</i>			40.0	4.0	18.0		5.0	36.0	23.0			
<i>Chlorophyta C.v</i>			18.0	5.0	14.1		9.2	43.0	10.0			
<i>Chlorophyta P.i</i>			9.1	0.7	0.6	2.1	15.1	9.3	2.8			58.9
<i>Cryptophyta H.b</i>		2.0	13.3	13.0	3.0		2.0		41.0		18.0	11.0
<i>Dinophyta G.s</i>		6.5	24.8	2.6		1.9	12.1	0.7	10.5	9.4		38.8
<i>Dinophyta S.sp</i>		3.2	9.4	0.7		0.5	1.5	1.5	59.1			20.7

機能性油脂として知られている高度不飽和脂肪酸ドコサヘキサエン酸(DHA)、エイコサペンタエン酸(EPA)は既に微細藻類からの産生が事業化されている。食糧用としては安全性の確保、風味、食感等の適性が必要となるが、種の選定、変異育種等で対応は充分可能と考える。更に工業用用途となると遺伝子組換え技術の導入により、生産性を飛躍的に向上させることが可能になると思われる。ここで食糧、工業用を合わせた日本の油脂需要量約300万トン/年を産生するのに必要となる微細藻類培養池の面積を、渡邊教授が算出されている重油相当オイル産生藻類 *Botryococcus braunii* の生産性をもとに計算すると(表5-4: 47~140トン/ha/年をもとに試算)、約2~6万haとなり、日本の耕作放棄地面積約39万ha

の1/20～1/7程度で足りることになる。ちなみに6万haとは淡路島(592km²)の面積に相当する。

油脂工業会館として新たに検討部会を設け、食糧用、工業用に活用できる油脂を産生する微細藻類の基礎研究、実用化研究の産学官一体取組みに向けた検討を行うことを提案する。技術面での共同取組みだけではなく、産業界として資金面での援助も当然考えなくてはならない。油脂の自給率を高めるためには、油脂工業会館参加企業が大学等の研究機関への支援を通して新たな食糧油脂の開発研究を要望していくことも一つの選択肢として提案したい。

参考資料：

inform [7] 432-437(2008)

日経ビジネス 32(2008)

日経エコロジー [4] 57(2009)

油脂産業論文 第33回最優秀賞(平成13年度)

消費構造の変化を踏まえた油脂産業の果たすべき役割

「微細藻類による油脂生産システム」—環境低負荷型社会を目指して—

ミヨシ油脂(株) 栗原正己

油脂産業論文 第40回優秀賞(平成20年度)

地球温暖化と油脂産業

「藻類を活用したN₂O・CO₂固定化バイオ燃料の提案」

ライオン(株) 藤川晴彦

油脂産業論文 第40回優秀賞(平成20年度)

資源争奪時代と油脂産業

地球環境を俯瞰した新資源創造と油脂産業の役割—微細藻類の活用と異産業界との連携—

花王(株) 静野聡仁、三村 拓、巽信 博

人も環境も藻類から 石川 依久子著 ポピュラー・サイエンス 240 裳華房

光合成とはなにか 園池 公毅 著 ブルーバックス B-1612 講談社

第6章 おわりに

本研究会の第1回打合せは08年6月に開催された。当時は原油価格、油脂価格が未曾有の上昇率で最高値を更新し、世界経済を驚愕させていた時期である。世界経済の先行きに不安を抱くと同時に、原料の争奪時代に突入すると予想された中で我々の研究会は始まった。当時の市場アナリストたちは価格の将来について、高値で安定することはあれ、大きく下がることはないとの予想を立てていた。しかし、一転、景気の後退と共に需要が減り、08年度末の価格は07年度末の価格以下になるという予想も付かない結果となった。

本文中でも述べた通り、長期的には新興国の成長と共に、原油および油脂需要が増加することは間違いなく、資源の乏しい日本にとって、環境問題に配慮した中での石油代替エネルギーの獲得と、食糧の確保（自給率のアップ）の取組みは非常に重要なテーマと言える。

燃料油に関しては、バイオエタノール、バイオディーゼルが既に商業化され、さらに現在、食糧と競合しない第二世代のバイオ燃料の実用化に向けた研究が活発に進められている。セルロース由来のバイオエタノール、ジャトロファ由来のバイオディーゼルなどは向こう3年以内の実用化が、また微細藻類産生オイル由来のバイオ燃料は5年以内の実用化が期待されている。これら第二世代のバイオ燃料技術の獲得は食糧油脂の確保に取っても非常に重要となる。

我々の研究会では、油脂原料の確保、自給率アップに関して、微細藻類産生オイルの応用が最も実現性が高いのではないかと考えた。日本の耕作放棄地の1/10程度を油脂原料用に利用すれば、日本の油脂需要量300万トンを確認できる可能性がある。現在進められている燃料油の研究と並行して、微細藻類からの油脂原料産生研究を国家プロジェクトとして早くスタートすべきではないか。先行する燃料油向けの研究の知見を活かせば、2015年の実用化も夢ではない。

(財)油脂工業会館においても平成20年度油脂産業論文の優秀賞3編のうちの2編が藻類活用に関するものであった。さらに平成13年度最優秀賞に「微細藻類による油脂生産システム」をテーマにした論文が選出されており、我々の業界でも早くから注目していた技術である。

「水田」と呼ばれていた耕作放棄地が、微細藻類を利用することで「油田」となり、燃料油だけでなく、油脂資源の宝庫となる可能性がある。その有効利用に向けた産学官一体となった取組みを提言し、平成20年度の研究会を終了する。

最後になりましたが、本研究会を推進するにあたり、「近年の穀物相場高騰の背景と今後の長期的需要見通しについて」三菱商事(株)油脂ユニット 高野瀬励氏より御講演を頂きましたこと、また、藻類研究に関しまして、筑波大学大学院生命環境学研究科 渡邊信教授ならびに理化学研究所 守屋バイオスフェア科学創成研究ユニット 守屋繁春ユニットリーダーより、お話を頂きましたことに対し、この場をお借りして深く御礼申し上げます。

約1年の間、油脂原料の現状、将来について議論できる貴重な機会を与えていただきました(財)油脂工業会館、及び参加各社の関係者の方々に深く感謝申し上げます。担当分野、専門分野が異なるメンバーでしたので、多方面からの議論ができ、毎月のミーティングは非常に有意義なものとなりました。メンバー同士の議論、資料解析、さらには商社の方からのご講演、研究機関訪問などから様々な知見を得ることができました。また、同じ業界内に身を置くものとしての強い連帯感を持つことができました。今後の油脂産業界の発展に役立てていきたいと思っております。



後列左より

新日本理化(株)
山田修司

(株)資生堂
鈴木晃

第一工業製薬(株)
大湾二郎

花王(株)
妻鳥正樹

前列左より

ライオン(株)
小松正典

ミヨシ油脂(株)
井山大士

日油(株)
竹尾浩之

(株)ADEKA
市川克則

研究会メンバー

リーダー
サブリーダー

井山 大士
竹尾 浩之
市川 克則
大湾 二郎
小松 正典
鈴木 晃
妻鳥 正樹
山田 修司

(ミヨシ油脂株式会社)
(日油株式会社)
(株式会社 ADEKA)
(第一工業製薬株式会社)
(ライオン株式会社)
(株式会社資生堂)
(花王株式会社)
(新日本理化株式会社)

五十音順