

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：32665  
研究種目：基盤研究(C)  
研究期間：2012～2014  
課題番号：24580329  
研究課題名(和文) トウモロコシ蒸留粕(DDGS) 飼料化のための流通システム

研究課題名(英文) Marketing system to feed of the DDGS

## 研究代表者

早川 治 (HAYAKAWA, Osamu)

日本大学・生物資源科学部・教授

研究者番号：00096885

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：バイオエタノールを生産する際に副産物として発生する蒸留粕(Distiller's Grains with Solubles = DDGS)が、飼料の副原料として利用されているが、その品質規格は生産企業による自社基準となっていることから数多く存在している。DDGSの品質は経時劣化が進むことから、品質の安定化が重要である。統一した品質規格が求められるとともに、品質安定のための流通インフラの改善が必要であり、日本の畜産生産者の使用拡大のために安全・安心な供給システムの構築とDDGSの利用促進のマーケティングが急務である。

研究成果の概要(英文)：The DDGS (=Distiller's Grains with Solubles) produced from Bio-Ethanol production is utilized as a secondary raw material for feed. Its quality are its own company standards, present in large numbers. The quality must be managed so that changes with time. In addition, we need quality standard that was unified in the transaction. And, Distribution infrastructure in order to stabilize the quality has to be improved. Livestock producers in Japan, wants a safe and secure supply system. And they want to know how to use the DDGS.

研究分野：農業経済学

キーワード：DDGS 飼料 流通 品質 価格

## 1. 研究開始当初の背景

近年、バイオエタノールを生産する際に副産物として発生する蒸留粕 (Distiller's Dried Grains with Solubles = DDGS) が、新たな飼料原料として注目されてきた。

これまで、DDGS に対する飼料成分分析の研究は数少なく、品質の規格・基準などの流通規格化や品質安定化のための流通システムの研究は未整備である。新しい飼料資源としてわが国への輸入量も年々増大しているにもかかわらず、流通実態の把握が不十分であり、流通やハンドリングに適した形状、現地での集荷および国内での流通体制等のコスト分析など、流通上のシステム改善策が課題となっている。

## 2. 研究の目的

(1) DDGS 発生源での品質管理状況の把握のために米国での保管管理の実態を調査して品質管理状況を把握する。

(2) DDGS は、油分の含有量、タンパク含有量、リン含有量など、その成分に大きな開きが存在するので取引基準のあり方を検討する。

(3) DDGS の輸入量は大幅に増大しているが輸送システムの実態を明らかにする。

(4) DDGS の国内流通制度は未解明であることから、国内流通制度の確立のために資する基礎的なデータの収集を行う。

## 3. 研究の方法

(1) 海外調査； アメリカ穀物協会 (US GRAIN) での情報収集ならびに意見交換、テキサス、ミネソタ州エタノール工場、畜産農家での聞き取り調査、スタンフォード大学での資料収集と意見交換、カリフォルニア州立デービス校での資料収集と意見交換。

(2) 国内調査； 国内飼料メーカーの聞き取り調査、畜産農家での聞き取り調査。

(3) DDGS に関する資料の収集と分析。

## 4. 研究成果

(1) 米国におけるエタノール生産

### エタノール生産拡大の要因

1963年に制定された大気浄化法は、自動車から排気される一酸化炭素(CO)、炭化水素(HC)の量を大幅にカットする厳しい内容で、ガソリンに再調合ガソリンの混入が義務化され、排気中の一酸化炭素を低減させる効果の高いMTBE(メチル・ターシャル・ブチル・エーテル)添加剤が混合された。しかし、MTBEが地下水の汚染を引き起こしたことから使用が禁じられ、代替としてバイオエタノールが添加剤として容認された。次いで、1973年のOPEC石油禁輸で、トウモロコシ由来の

エタノール生産に補助金を支出した。1977年に改正された大気浄化法ではガソリン混合割合が10%(E10)まで容認、さらに1978年の改正ではE10の物品税が軽減される税制優遇政策が行われた。1980年にエネルギー安全保障法、1992年に国家エネルギー政策法が制定され、代替燃料導入の税優遇が展開された。2005年のエネルギー政策法は、再生可能エネルギー使用義務量を2012年までに年間75億ガロンまで拡大することを決定した。ブッシュ大統領は2017年までの10年間で、「ガソリン消費量20%減」を打ち出し、再生可能・代替燃料使用量を350億ガロンにすることを義務付けた。2007年にはエネルギー自立・安全保障法によって、再生可能エネルギー基準(RFS2)のうち、トウモロコシを原料とするエタノール使用義務量を2022年までに360億ガロンに設定するなど、エタノール生産は拡大した。

### エタノール生産の拡大

トウモロコシのほとんどが飼料原料として使われてきた時代から、食品や工業製品、スターチや甘味料、コーン油やエタノールなどに利用される割合が高まってきている。米国のバイオエタノールの生産量は、2007年に65.2億ガロン、そして2011年13.93億ガロンにまで達した。その後、原料となるトウモロコシ価格の高騰やエネルギー政策による補助金の縮小などもあってやや縮小する傾向にある。

(2) 米国における DDGS 需給の現状

### DDGS の供給状況

トウモロコシを原料としたエタノール生産が本格化すると、副産物であるエタノール絞り粕が大量に発生することになり、それを家畜の原料とする新しい粕飼料が市場化された。それがいわゆる DDGS で、製造方法によってドライミル方式とウエットミル方式の2種類のシステムがある。前者は、トウモロコシを水に浸した後、杯芽、タンパク質、澱粉に分離して、果糖を豊富に含有するコーンシロップやコーン油、粘着剤、エタノールなどを生成する。家畜飼料の原料となるグルテン飼料(CGF)として販売される。後者は、トウモロコシを粉砕したものに水、アンモニア、酵素を加え、発酵させる。発酵後、エタノール分が残留しているため、遠心機を介して液体と固形分に分離される。残留固形物と蒸留可溶物が一緒に混合された可溶分(DDGS)を乾燥させて固形物が生成される。DDGSを蒸発装置で精製してシロップを精製する工場もある。再精製して得られた DDGS は油分が

抜き取られており、低脂肪・高タンパク質 DDGS として商品化されている。

工場の能力によって生成される DDGS の品質にはばらつきが見られるが、一般的には、トウモロコシ 1 ブッシェル(約 25.4kg)からエタノールが 2.8 ガロン(10.4 リットル)、DDGS が 17 ポンド(8.5kg)、そして二酸化炭素が 18 ポンド(8.2kg)発生する。このように、トウモロコシ成分の約 3 分の 2 の澱粉が発酵してエタノールと二酸化炭素になり、残りの 3 分の 1 が DDGS となる。DDGS への製造工程でタンパク質は 10~30%、脂肪は 4~12%に濃縮される。湿式、乾式のいずれの場合でも、トウモロコシ粒の 3 倍のタンパク質と脂肪に濃縮されるので DDGS には高い栄養分が凝縮されることになる。

アメリカ再生燃料協会(RFA)によれば、2014年1月時点でのエタノール工場数は、全米28州に210工場、生産能力は150億ガロンである。年間総売上額は400億ドル超で、DDGSの売上額は100億ドル規模である。

年間総生産量約3.5千万トンのうち国内仕向け量は約70%で、輸出仕向け量は約30%である。2007年以降に輸出量の割合が拡大し始めたが、近年ではほぼその割合は停滞している。輸出先を見ると、1990年代ではEU、カナダへの輸出が圧倒的であったが、近年では東アジア、南アジアへの出荷割合が多くなった。最大の輸出先国は中国で、2013年では全輸出量の46.2%と過半を占有している。次いで、メキシコ13.2%、カナダ4.9%で、上位3カ国で全体の約65%に達している。2014年6月、最大の輸入国であった中国当局は認可していない遺伝子組み換えトウモロコシMIR162が含まれている可能性が高いと判断したためDDGSの輸入を突然停止した。その結果、DDGSの中国仕向けは完全に停止している。

#### DDGSの輸送体系

DDGSは保存性が高いという特徴を持つ。そのため、トラック、貨車やはしけを利用する輸送体系が発達した。海外仕向けルートは、2013年現在、80%がバルクで、残り20%がコンテナで輸送されている。

DDGSは、温度や湿度、水分、粒子サイズなどの変化によって形質に大きな影響を受けるが、温度管理によってDDGSの粘着性のコントロールは可能となる。

コーンベルト地帯に立地するエタノール工場で生産されたDDGSがアジア方面に輸出される場合、ユニオン・パシフィック鉄道のホッパー(貨車)に積み込まれた後、カリフォルニア州ロングビーチ港あるいはワシ

ントン州サクラメント港近郊のストックポイントで、FDA(食品医薬品局)による輸出検査が実施される。

その後、40フィートの専用コンテナに積み換えられて専用貨車が編成され、ロングビーチ港、サクラメント港へ移送され貨物船に積み込まれる。2013年4月での中西部からの輸送コストは、コンテナへの積み込みコストとしてトンあたり25ドル、コンテナ鉄道60ドル、その他流通経費が25ドルの合計110ドルが国内流通コストとなる。

また、中西部の工場から搬出されたDDGSは、ミシシッピー川を利用するはしけによってニューオリンズ港で輸出専用船に積載されるルートもある。この場合の流通費用は、

(写真1)ホッパーから (写真2)20フィート  
積み下ろし コンテナへの積載



内陸のリバーサイドエレベータでの積み込みコストがトンあたり25ドル、はしけのコストが35ドル、大型本船への積み込みコストが65ドル、その他経費を含めると、合計125~150ドルである。積み込み作業上の問題点としては、作業自体がオープンエリアでの作業となっており、虫の混入が避けられない。その点では、流過程での生物混入が起こりうることを念頭に置かなければならない(写真1.2)。

#### DDGSの成分と取引基準

DDGSの成分は、粉碎方法、加熱、発酵方法、蒸留工程、乾燥能力、混合するシロップの量など工場の能力によって違いがある。さらに、

表 2-1 DDGSの栄養成分(100%乾物換算)

栄養成分	平均	範囲
粗タンパク質 %	30.9	28.7-32.9
粗脂肪 %	10.7	8.8-12.4
粗繊維 %	7.2	5.4-10.4
灰分 %	6.02	3.0-9.8
算出 ME (代謝エネルギー)	3810	3504-4048
リジン %	0.90	0.61-1.06
アルギニン %	1.31	1.01-1.48
トリプトファン %	0.24	0.18-0.28
メチオニン %	0.65	0.54-0.76
リン %	0.75	0.42-0.99

(出所) US.GRAINS "DDGS Use Handbook"より引用

時間の経過とともに成分組成が変化することも知られている。アメリカ穀物協会が公表した最近の成分内容は表 2-1 の通りである。こうした DDGS の成分の差を考慮した上で、

家畜飼料への配合割合を検討しなければならない。

カビ毒の一種である「アフラトキシン」の問題がある。2012年夏の歴史的干ばつは、高温乾燥を好むアフラトキシンの大量発生を誘発した。FDA基準では、アフラトキシンが20ppb以上の飼料穀物を使用することが禁じられているため、多くの企業では基準値にあるトウモロコシを調達するためにプレミアムを支払って確保した。とりわけ、DDGSはその濃度が3倍に濃縮されることから、エタノール原料となるトウモロコシの未汚染原料の確保に多額の支出が行われた。工場へのトウモロコシ搬入時にはマイコトキシン汚染検査がおこなわれており、通常汚染物質の混入は排除される。腐敗を防止して安全に保管するために、WDGSでは防かび剤が使用されるケースがあるが、DDGSでは水分の含有率が10%であることから、輸送中あるいは保管中での腐敗リスクは少ないものの、薬の投与の実態は明らかにされていない。

2010年4月からシカゴ・マーカントイル取引所（CMEグループ）では以下の基準によるDDGSの先物取引が開始された。

取引単位：100ショートトン（約90.72トン）

品質規格：タンパク質 26%以下  
脂肪 8%以下  
粗繊維 12%以下  
水分 11.5%最大

しかし、先物取引を通じた一般取引はおこなわれていないのが実情である。

### (3) DDGS 飼料化の現状と課題

米国における DDGS の飼料利用の実態

DDGS は乾物比が 88～90%のものを指す。乾物比が 45～50%のものを MDGS、30～35%のものを DWGS に細分される。さらに、CGF（Corn Gluten Feed）、DDG（Distillers Dried Grains）、CGM（Corn Gluten Meal）、WDG（Wet Distillers Grains）、CDS（Condensed Distillers Solubles）などいくつかの区分された呼び名の製品群が生産される。いずれも、飼料原料として供給されており、48%が肉牛の肥育後期の飼料原料に利用されている。その多くは WDG 形態のものが多いとされる。また、31%が酪農飼料原料に仕向けられており、搾乳牛には DDGS の配合割合が増大するに当たって搾乳量が増える傾向にあることから、配合率が 20～30%の範囲が最大値になるという。

わが国の DDGS 輸入状況

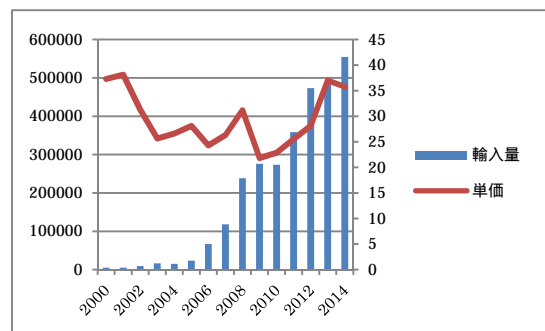
わが国には年間 55 万トンが輸入されているが、2011 年以後輸入量は大幅に増加した。

輸入単価は、2001 年以降相対的に下落基調になったが、2009 年をボトムとして上昇に転じており、現在では約 3.5 万円水準にある（図 3-1）。

DDGS の取引価格の基準となる指標は、トウモロコシの先物価格、大豆かす価格に連動している。とりわけ、大豆かす価格との価格差は 1 万円から 2 万円で、近年ではその価格差が一段と大きくなっている。このことから、DDGS は大豆かすの代替品としての意味合いを大きくしている。

図 3-1 わが国の DDGS 輸入量と輸入単価の推移

（単位：トン・千円）



注) 2014 年は 1 - 9 月期

(出所) 日本貿易統計 (統計品目番号 230330000) より作成

2004 年 8 月に農林水産省は、DDGS を「トウモロコシジスチラーズグレインソリュブルル」と命名し栄養価等の暫定数値の公表を開始した。さらに、2010 年度からは農林水産省「飼料月報」で配合飼料原料として DDGS が対象となった。2014 年 7 月の農水省「飼料の公定規格」改正で、従来の DDGS に加えて、低脂肪 DDGS（粗脂肪含量 7 から 11%）の数値も公表されるようになった。公式な数値が公表されたことによって畜産農家の DDGS 利用環境は整ってきている。しかし、DDGS の原料表示区分がふすまや米ぬかと同じ「そうとう類」に分類されていることから、栄養価としての価値認識は低い。そうとう類の代表格である「ふすま」はエネルギー価が低いものの、ビタミン（ビタミン B 群と E）の補給源として利用され、「米ぬか」は脂肪が少ないものの、りん、たん白質が多い飼料原料とされており、いずれのそうとう類も安価な原料とされている。DDGS の成分は多くの脂肪を含み（低脂肪が増加）、高いエネルギー価を示したもので、従来のそうとう類とは異なった栄養価を示す。特に、低脂肪 DDGS は大豆かす・ミールとの代替性を持っている。「トウモロコシ対比、粗たんぱく質が 3 倍以上、エネルギー（TDN）含量は同等やそれ以上、粗脂肪含量が高く澱粉含量が少ない。グルテンフィード対比では、粗繊維含量がほぼ

同等で、高たんぱく質、高繊維質、高脂肪である。各畜種ともに有効なたんぱく質、エネルギー源として利用が可能との分析結果も示されている。

わが国における DDGS の飼料利用の現状  
DDGS の国内利用は、2006 年にホクレン農業協同組合連合会が乳牛用として最初に始めたとされている。

年間使用量は、2010 年に 21.7 万トンから 2013 年の 3 年間で約 2 倍強の 46.8 万トンに増大した。2010 年度の畜種別使用割合は、養鶏用が 38.3%、乳牛用が 30.7%で、両畜種で全体の 70%を占めていた。しかし、その後は、養鶏用が一段と増大した。わが国では、卵黄色系への志向が強いことから、トウモロコシのキサントフィル色素が濃縮されている DDGS は格好の飼料原料になっている。現在では、DDGS の飼料使用量のうち 60%が養鶏用、とりわけ採卵鶏用に使用されていることは、他国と大きく異なるわが国固有の特徴である。

わが国での DDGS 給与研究は緒に就いたばかりといえよう。日本畜産学会を中心として行われた試験結果、社団法人 中央畜産会が公表した調査報告書、北海道の TMR センターでの DDGS 取組みの実績 などでは、但馬牛の肥育に DDGS は 5%まで使用可能、DDGS と飼料用米を組み合わせで調製した発酵 TMR はトウモロコシを用いた発酵 TMR と同等の黒毛和種産肉成績と肉質が得られる、生後 17 ヶ月齢のホルスタイン種去勢肥育牛 16 頭に原物飼料中 15%を DDGS に変換した飼料を 3 ヶ月間給与した試験では、出荷前 3 ヶ月間飼料添加は採食量の低下から体重、胸囲の低下を招くが、飼料費の低下及び枝肉販売価格の向上から収益性が向上する、など、いずれの報告でも、DDGS を飼料給与しても特段大きな問題は発生しないことが示された。

次は、価格と栄養価との問題である。大豆かす価格と DDGS との価格差は 1 万円から 2 万円で、近年ではその価格差が一段と大きくなっている。DDGS の輸入価格と栄養成分量との評価価格水準は、粗タンパク質 1 kg 当たりの価格ではトウモロコシの 28%程度、粗繊維ではトウモロコシの 23%、大豆かすの 44%、リンではトウモロコシの 64%、大豆かすの 15%相当の価格価値を有することになる。しかし、肉牛生産者の現場では、そうとう類であるふすまや米ぬかとの比較で認知されているために、DDGS 価格の割高感が強い。そのため、現在の価格水準では配合原料として利用できないとして、使用を中断している生産者が見受けられた。採卵鶏経営では、DDGS

の栄養価値を高く評価する者も多く、使用継続の意識は強い。しかし、輸入価格水準が今以上に上昇することになると、DDGS の配合比率に影響が出てくるとの意見も多く出されている。

#### (4) 総括

DDGS は 1900 年代後期から始まった新しい産業であり、しかも 2000 年代初頭から一挙に巨大化した産業である。エタノールビジネスそのものが単独で採算性を有していた時代には、副産物である DDGS の商品化は注目されていなかった。エタノール生産が巨大化し、副産物が大量に発生するとその処理費用が膨大になるとともに、エタノールビジネスの採算性が悪化するとともに、新しい収益源として DDGS がにわかに注目されるようになった。

一方、アメリカのトウモロコシ生産者たちは、栽培技術革新で増大した生産物を従来の飼料、食品、工業の供給先市場だけでは価格の暴落を招き所得の確保が困難になり、食料や飼料以外の第 3 のトウモロコシ巨大市場を必要としていた。その市場がエタノール生産である。飼料向けトウモロコシをエタノール工場に販売し、そこから派生した副産物 DDGS をトウモロコシの代替物として家畜の飼料源としたことが、21 世紀に入ってからのアメリカの穀物・畜産市場構造の大きな変容である。

わが国への DDGS の輸入は、2006 年から本格化されたきわめて浅い歴史しかない。わが国の畜産は「日本型加工畜産」として発展してきた。そのため、配合飼料給与割合や成分構成は独特な技術に基づいている。その配合構成に、新しい資源として DDGS を加えることになれば、基礎的な科学分析と畜産物への影響に関するデータの積み上げが必要となる。今後さらに、基礎データの構築と基準作りが求められる。

DDGS の品質は、生産企業の自社基準に基づいて安定しているとはいえ、独自の基準が数多く存在することも事実である。アメリカ政府による DDGS の統一規格が制定されていない現状では、それを使用するユーザーにとっては品質安定のリスクを伴う。DDGS の性質上、油性の酸化、固結化などの経時劣化が進む。その変質防御のための保管施設と輸送方法など流通インフラの整備は未熟である。現状のシステムでは、コンテナ輸送は最終ユーザーの庭先まで配送が可能ではあるが、生産現場で製品変質を防ぐ保管技術が存在しているとはいえない。また、バラ輸送では積み下ろし場では平置きが一般的であることが



ら品質劣化が防げない。専用の保管庫もしくは保管場の設置が急務である。

DDGSの輸入価格形成は、原料価格に輸送コスト、輸入諸係りが加わった価格となる。しかし、穀物相場は先物価格で相場の安定と平準化が図られているが、DDGSにはリスクヘッジとしての先物市場が形成されているものの、その運用実態はない。したがって、DDGSの価格は、トウモロコシや大豆かすの値動きに大きく左右する。価格の安定をいかにして実現するか、そのシステム作りも待たれる。

DDGSの単位重量は、トウモロコシの3倍に濃縮される。このことは、カビ毒の濃度も3倍に濃縮残留することになる。これを防ぐためには、原料となるトウモロコシ自体の強固な検査体制が必須の条件となる。原料搬入元での検査体制は、USDA/FDAの基準にのっとって行われているが、一層の衛生管理システムが求められる。

#### <引用文献>

アメリカ穀物協会  
[http://grainsjp.org/cms/wp-content/uploads/DDGS\\_usage.pdf](http://grainsjp.org/cms/wp-content/uploads/DDGS_usage.pdf)

アメリカ穀物協会  
<http://grainsjp.org/grains/DDGS-g/>

中野貴史「米国産DDGSの生産実態等について－米国での生産・利用実態と日本における利用拡大の可能性－」農畜産業振興機構『畜産の情報』2011年9月

アメリカ穀物協会「ユーザーハンドブック(3版)」  
[http://grainsjp.org/cms/wp-content/uploads/uhb\\_3\\_14.pdf](http://grainsjp.org/cms/wp-content/uploads/uhb_3_14.pdf)

独)農畜産業振興機構編「世界の飼料穀物需給-トウモロコシ需給の構造変化-」p222

アメリカ穀物協会「NETWORK」No.83 2014年9月

社)中央畜産会「新たな飼料資源(トウモロコシDDGS)の成分分析等の結果について」平成22年3月 p4-p5

独)農畜産業振興機構編「世界の飼料穀物需給-トウモロコシ需給の構造変化-」p222

木村 信熙「わが国におけるDDGSの利用実態と最近の牛に対する国内給与試験の事例」アメリカ穀物協会「NETWORK」No.70 2013年8月

梶川 博「反芻家畜におけるバイオエタノール製造副産物(DDGS)利用性の変動とその影響要因の解明」、佐伯真魚「発生工場の異なるDDGSの豚および鶏についてのエネルギー価変動に関する研究」、木村信熙「DDGS給与がホルスタイン種、エアシャー種、ジャージー種のルーメン内容物、乳量、乳成分、乳

中脂肪酸組成の品種間差及び給与に伴う経時的变化に及ぼす影響」「肥育後期DDGS給与がホルスタイン去勢肥育牛の産肉形質及びその経時的变化の及ぼす影響」中央畜産会「新たな飼料資源(トウモロコシDDGS)の成分分析等の結果について」平成22年3月 阿部 亮「北海道のTMRセンターとDDGS」アメリカ穀物協会「NETWORK」No.86-87 2014年12月-2015年2月

独)農畜産業振興機構編「世界の飼料穀物需給-トウモロコシ需給の構造変化-」p225

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

早川 治、バイオエタノール生産の伸長と輸入飼料原料の供給体制、農業市場研究、査読無、第23巻第3号(通巻91号)、2014年、p49

〔学会発表〕(計2件)

早川 治、DDGS(トウモロコシ蒸留粕)の需給動向と飼料資源の可能性、日本国際地域開発学会2014年度秋季大会、2014年11月22日、九州大学(福岡県福岡市)

早川 治、バイオエタノール生産の伸長と輸入飼料原料の供給体制、日本農業市場学会2014年度大会、2014年7月6日、和歌山大学(和歌山県・和歌山市)

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

早川 治 (HAYAKAWA Osamu)  
日本大学・生物資源科学部・教授  
研究者番号：00096885

(2)研究分担者 なし

(3)連携研究者 なし

(4)研究協力者

大石 敦志 (OISHI Atsushi)  
矢野 佑樹 (YANO Yuki)