

北海道における持続可能な酪農への可能性

慶應義塾大学 経済学部 4年 34組

20426292

大沼あゆみ研究会 6期生 安田尚史

一生懸命努力すればするほど、運は味方する。

The harder you work, the luckier you get.

デーリー・プレイヤー(プロゴルファー)

目次

序章

第1章 酪農について

- (1) 酪農とは
- (2) 酪農の発展過程

第2章 北海道における酪農の現状と問題

- (1) 北海道における酪農の現状
- (2) 北海道の酪農における問題 ～糞尿過剰のメカニズム～
- (3) ふん尿過剰による影響

第3章 ふん尿の処理・対策の現状

- (1) ふん尿の不適切な管理
- (2) ふん尿の不適切な処理
- (3) 現在の対策：「家畜排せつ物法」の制定

第4章 共同型バイオガスプラントの提案

- (1) 共同型バイオガスプラント
- (2) 海外におけるバイオガスプラントへの取り組み
- (3) 共同型バイオガスプラントのメリット・デメリット
- (4) バイオガスプラント導入に関する支出と収入
- (5) モデル分析

第5章 分析

- (1) 導入地域
- (2) 費用曲線
- (3) 収入曲線
- (4) 社会的収入曲線
- (5) 結果

終章

序章

序章

今日、大型機械・近代的な施設の導入により大規模な酪農が展開されている。その結果、1戸当たりの飼養乳牛数、生乳生産量は飛躍的に増加した。特に北海道では平成17年において1戸当たりの乳牛数の平均がおよそ97頭にまで増加している。これはEUの水準に匹敵する値であるのだが、北海道の平均酪農面積が16.2haであるのに対し、EUは平均酪農面積が30ha以上であるためにその環境容量に大きな違いがある。このような状況から現在、ふん尿の過剰による環境汚染が深刻化しているという問題が起きている。ふん尿というのは適切に処理され堆肥化すれば肥料として有効利用できる資源になるが、過剰になり不適切な処理・管理をされると、悪臭・水質汚染・温室効果ガスの排出・アンモニアの発生などといった環境負荷を与えてしまう。そして、北海道のような1戸当たりの乳牛数が多い地域ではそういった環境汚染が顕著になっており、また、労働力・処理施設の不足という問題から具体的な対策が行われていない。その結果、環境に良いとされている酪農が持続可能に展開できない状況になりつつあると危惧されている。そこで私はこの問題を解決すべく、ヨーロッパで積極的に利用されている共同型バイオガスプラントの導入を提案する。共同型バイオガスプラントはふん尿から発生する環境負荷要因を削減し、ふん尿から排出されるメタンガスから発電を行う設備である。このようなメリットを持つバイオガスプラントであるが、一方でコストが高いことが問題である。そこで分析ではバイオガスプラントの導入による収入と支出の面を考え、バイオガスプラントの導入の現実性を探っていきたい。

第1章 酪農について

まず始めに、この章では酪農についての基礎知識・歴史、発展過程を見ていくことにする。酪農とはどのようなもので、どういった経緯で誕生・発展してきたのかなどといったことを述べていきたい。

(1) 酪農とは

酪農というのは畜産の一部である。そもそも畜産とは、家畜の飼育によって家畜由来の産物（乳・肉・卵・毛皮など生活に必要な物）を得る農業の一分野のことである。その中で酪農というのは牛・羊などを飼い、乳やその加工品を作る産業であり、搾った牛乳を出荷するというものである。

そして酪農は、冷涼な気候や地域、大都市周辺において盛んに営まれている。特に北海道の広大な土地と冷涼な気候は、牧場や家畜の飼育栽培に適しており、農作物とちがって年間を通して牛乳がとれるために、冬の長いこの地域でも一定の収入があげられる。そのため北海道では開拓の初期からアメリカ合衆国の影響を受けて、酪農が行われてきた。日本の酪農において最も飼育されている乳牛の種類はホルスタイン種というものである。ホルスタイン種は、イメージのしやすい白と黒の模様の牛であり日本における酪農では約99%がこの種である。原産地はオランダからドイツのホルスタイン地方で、体が大きく乳房が発達していて乳量が多く、世界においても最も多く飼われている。性格はやさしく、寒さに強く暑さに弱いのが特徴として挙げられる。



社団法人中央酪農会議のHPより引用

それでは、どのようにこの酪農というものは誕生したのであろうか。一番有力な説によると新石器時代（紀元前6000—7000年）においてオーロックという牛の原種が飼いならされたという記録があり、それが家畜としての牛の起源だと言われている。その後、紀元前4000年頃にはすでにメソポタミアで牛乳を利用していたことが当時の石板に示されている。そして牛乳を飲む習慣が伝わったルートは、アリア人と共に中東からインドへ向かうル

ートとゲルマン人と共に中東から中央ヨーロッパを通過して北ヨーロッパに広がるルートの2つのルートがあったと考えられている。こうして酪農というものが誕生し、世界各国に伝わったのであるが、日本ではいつ頃酪農は誕生したのであろうか。

日本列島では、紀元前400年、弥生時代の遺跡から家畜牛の遺骨が出土している。ただその当時の日本で飼われていた牛は、主に中国などアジア大陸で家畜化されたものが、渡来人により持ち込まれたものと考えられているためにこれが酪農の発祥とは言い切れない。その後、江戸時代になり、徳川8代将軍徳川吉宗が享保12年(1727年)に白牛3頭を輸入し、安房の郷(現在の千葉県)嶺岡の牧場で飼育を始めたのが日本の近代酪農の発祥とされている。ここで搾った「白牛酪」という牛乳に砂糖を加えて煮詰め、乾燥させたものを作り、薬や栄養食品として珍重していたという。

以上のように日本において酪農は江戸時代から始まったと考えられているが、牛乳自体はもっと早くに伝えられていた。今回の論文作成に当たり酪農の歴史資料の中に牛乳の歴史に関する資料を見つけ読んでみると関心を引きつけるものであったため、余談になるが述べさせていただくことにしたい。

日本に牛乳が伝えられたのは、飛鳥時代で、百濟(現在の韓国)からの帰化人である福常が、孝徳天皇(644~654年)に牛乳を加工した「蘇(そ:練乳)」を献上したところ、天皇はたいへん喜び、和薬使主(やまとのくすりのおみ)という姓と乳長上(ちちおさのかみ)という職を授けられたということが、平安初期に記録されている。その後都に乳牛院がおかれ、乳を搾って朝廷に献上するようになったという。また、深い味わいや本当の楽しみなどに接したとき「醍醐味」というが、「醍醐」とは古代の最高級の乳製品の名前で、仏教でいう五味の最上のものを指すという。平安時代の字引には「牛乳を煮て作るのが酪で、その酪が蘇となり、蘇が醍醐や乳餅となった」とあり、蘇は練乳、醍醐や乳餅はチーズと考えられている。しかし、このころに牛乳や乳製品を食べていたのは主に貴族であったが、この風習も仏教の影響により、家畜の食用が禁じられることで廃れていったという。

(2) 酪農の発展過程

次に、酪農が日本においてどのように発展し、普及してきたのかを述べていきたい。酪農の日本における発展過程は「酪農の地域システム」(梅田克樹著)によれば、生乳生産者の属性によって、5期に区分される。すなわち、専業搾乳業者が主力を担っていた戦前期、副業的な農家酪農の育成が国策として進められた戦中期、乳業会社の垂直統合下において有畜酪農経営が急増した酪農普及期、大規模層の酪農専業化と小規模層の淘汰が急激に進行した酪農発展期、生乳計画制度下において多頭育経営の育成が政策的に図られた計画生産期である。

1. 戦前期(1930年代以前)

近代以前の日本においては、宮廷や将軍家などごく一部の例外を除いて、牛乳が食料と

して扱われることはほとんど無かった。搾乳を目的とした乳牛飼養が始められたのは、文明開化によって西洋の肉食文化が移入されてからのことである。その後、明治・大正期には、都市の市街地に専門搾乳業者が立地し、生乳生産を手掛けるようになった。そして、生産された生乳の大部分は専門搾乳業者が殺菌処理し販売されたが、当時の牛乳は贅沢品であり、日常的に飲用できたのはごく一部の富裕層だけだった。しかし、大正時代になると庶民の生活水準も徐々に向上し、食生活の洋風化が進むと、専門搾乳業者の生産量だけでは、拡大する市販需要を満たすことは出来なくなった。また有畜農業の有利性も明確になったため、農林省は1920年に牛乳営業取締規則を改正し、農家の生産乳を市販として販売できるようにした。こうしてこの戦前期に、農家の手によって酪農が畜産業の一環として行われるようになったのである。

2. 戦中期（1931～45年）

有畜農業奨励規則の制定（1931年）や牛乳営業取締規則の一部改正（1933年）によって、有畜農業の育成が国策として推進されるようになった。この戦時体制下における有畜農業政策によって、全国各地に酪農農家が急速に普及した。そして、1935年には、酪農農家の乳用牛飼養頭数が、専門搾乳業者のそれを上回った。その後、第二次世界大戦末期には、飼料供給が著しく不足するようになった。購入飼料に全面的に依存していた専門搾乳業者の多くは、廃業に追い込まれることとなってしまったのである。その一方で、自給飼料基盤が専門搾乳業者に比べて比較的整っていた酪農農家は、飼料不足による影響は受けたものの、経営を維持することが出来た。

3. 酪農普及期（1946～60年）

1950年ごろになると食糧難がほぼ解消された。さらに、食生活の洋風化も進んだ。それゆえに、牛乳・乳製品の需要は飛躍的な拡大をみせ、1951年には生乳生産量が戦時中のピーク水準を回復した。その後、政府も有畜農業政策を採用し、酪農振興法（1954年）に基づいて全国31ヵ所（最終的には82ヵ所）の集約酪農地域を指定するなど、酪農農家の普及を積極的に推進した。この結果、副業的な家族酪農経営が次々と勃興し、酪農産業は飛躍的発展を遂げた。1950年代の10年間に、乳用牛飼養戸数は3.1倍、飼養頭数は4.2倍、生乳生産量は5.1倍に急増したのである。

4. 酪農発展期（1961～78年）

日本経済が高度経済成長に突入した1950年代後半以降、農業と工業における格差は広がる一方だった。そうした状況下にあった、1961年に、日本農業の新たな枠組みが示された農業基本法が制定された。この法律では、日本の農業構造を抜本的に改革するための手段として、自立経営の育成と農業生産の拡大が掲げられ、生産性の向上と所得改善が目指された。その結果、乳用牛飼養頭数や生乳生産量は高い増加率を維持し、特に一戸当たり飼

養頭数の伸び率は年 10%を超えた。1960 年代後半には、中～大規模層の多頭育化志向がとりわけ顕著になった。一方で、科学肥料や農業機械の普及によって有畜農業経営のメリットが低下したため、小規模層の農家の淘汰が相次いだ。この結果 1963 年をピークとして、酪農農家数は減少に転じることとなった。

5. 計画生産期（1979 年以降）

1979 年度に導入された生乳計画生産制度は、競争制限的な需給調整システムだった。これにより、個人の自由意志に基づく多頭育化志向の実現は困難な状況になってしまった。それゆえ、多頭育化の進行はやや停滞する傾向がみられた。しかし、1987 年度に供給不足が生じ、大量の乳製品を輸入する事態に陥った。さらに急激な円高の進行も乳製品輸入量の急増に拍車をかけた。そのため 1989 年度に中期的計画生産方式が導入されることとなった。これは、今後 3 年間の需要予測に基づいて設定した計画生産目標数量を基礎としながら、需給動向に応じて随時修正を加えることによって、安定的な計画生産を実現しようとする方式である。国際的な価格競争力を強化することが急務となる中で、競争制限的な制度を続けることは許されなかったのである。この結果、1990 年代以降は事実上ほぼ無制限に搾れるようになり、一部の大規模層は多頭育化志向を一層強めることになった。そして現在、飼養頭数 100 頭、年間生乳生産量 1000 t を超えるメガファームや飼養頭数 1000 頭、年間生乳生産量 10000 t を超えるギガファームが出現している。

以上のように、酪農の発展の歴史には、政策・制度が果たした役割が大きいものであることが分かった。それによって、日本の酪農の規模は大きく発展し、多頭育化が進んだ。しかし、以後の章で述べていくことではあるが、これまでの効率性・利益を優先する酪農形態では環境への負荷が高まっており、持続可能とは言い切れなくなってきている。そこで今の日本の酪農の現状、特に北海道においてどのようになっているのかを次の章では見ていくことにする。

第2章 北海道における酪農の現状と問題

第1章では酪農とは何か、また酪農の歴史・発展経緯について述べてきた。ここではその酪農が現在日本においてどのような現状にあるのかを述べていきたい。また、全国の状況とは別に日本国内で最も酪農が盛んな北海道における現状も見ていく。北海道の酪農は日本の酪農の中核としてEU諸国の水準に匹敵するほどの規模に発展してきた。しかし、その一方で規模拡大によって環境への負担が大きくなっているという。そこで、北海道の酪農の現状はどうなっているのかということ年全国と比較して把握して、その中で生じている問題に対し言及していきたい。

(1) 北海道における酪農の現状

ここでは北海道における酪農の現状を、酪農家数、乳牛数、1戸当たりの乳牛数と順番にそれらの数の推移を見ていく。全国と北海道におけるこれらの数のデータは農林水産省の「畜産統計」によれば以下のように現在推移している。

表1：全国における酪農家、乳牛数、1戸当たりの乳牛数の推移

	H9年	H10年	H11年	H12年	H13年	H14年	H15年	H16年	H17年
酪農家(戸)	39,400	37,400	35,400	33,600	32,200	31,000	29,800	28,800	27,700
乳牛(千頭)	1,899	1,860	1,816	1,764	1,726	1,725	1,719	1,690	1,655
1戸当頭数(頭)	48, 2	49, 7	51, 3	52, 5	53, 9	55, 7	57, 7	58, 7	59, 7

農林水産省「畜産統計」参照

表2：北海道における酪農家、乳牛数、1戸当たりの乳牛数の推移

	H9年	H10年	H11年	H12年	H13年	H14年	H15年	H16年	H17年
酪農家数(戸)	11,000	10,600	10,300	9,950	9,640	9,400	9,200	9,030	8,830
乳牛数(千頭)	889, 1	882, 4	878, 2	866, 9	853, 7	860, 0	863, 5	863, 7	857, 5
1戸当頭数(頭)	80, 8	83, 2	85, 3	87, 1	88, 6	91, 5	93, 9	95, 6	97, 1

農林水産省「畜産統計」参照

1. 酪農家数の推移

上の表を見てみると、現在日本の酪農家数は著しく減少していることが分かる。平成9年の時に約3万9400戸の数が、平成17年には約2万7700戸にまで縮小してしまった。それだけではなく、実際に1963年のピーク時には41万7600戸を数えていたのだから酪農家数の減少は大変著しいものである。それと同様に北海道における酪農家数も年々減少傾向にある。平成9年においては約1万1000戸であったのだが、平成17年には8830戸へと減少している。た

だし、それでもこの数は全国の酪農家数のうち、およそ4分の1以上の割合を示しており、北海道が酪農の盛んな地域ということを証明している。このように酪農家数が減少している原因としては、少子高齢化による跡継ぎ問題や、安い海外乳製品との競争に負けて廃業せざるをえないという背景がある。

2. 乳牛数

乳牛の飼養頭数も減少し始めている。全国で見ると、平成9年に約190万頭いたのが、平成17年には165万頭に減っている。同様に北海道でも、平成9年から平成17年にかけて、乳牛数が約89万頭から約86万頭に減少している。このように乳用牛の頭数が減少したのは、乳牛の産乳能力の向上による乳牛1頭当たりの生産量の拡大により生産の効率化に努めてきた成果であったり、酪農家数が減ったためだと考えられる。ただし、酪農家数と比べれば緩やかな減少であることが乳牛数の推移の特徴として見受けられる。また、北海道の乳牛数は平成17年には全国の乳牛数の半分以上を占めており、酪農の中心地帯であると言える。

3. 1戸当たりの乳牛飼養頭数

酪農家、乳牛ともに減少している中、酪農家1戸当たりの乳牛数は右肩上がりです上昇している。全国のデータを見てみると、昭和40年には1戸当たりわずか3.4頭であったのが、平成17年には平均約60頭にまで上昇している。また同様に、北海道では平成9年に80.8頭であったのが、平成17年にはおよそ97頭にまで増加している。これらのことから、第1章でも述べたことではあるが、酪農家の多頭育化が進行していることが理解できる。酪農家数が減少していく中、乳製品への需要に対応し、海外の乳製品に勝つには個々の酪農家の生産数を上昇させなければいけない状況にあるということが言える。

以上より、北海道の酪農状況は、酪農家数、乳牛数に関しては全国と同じように減少傾向にある。一方で、1戸当りの乳牛数は確かに全国同様に増加しているのであるが、その平均が97頭にまで増加している。このことがどのような問題を生み出しているのか。それを次に見ていきたい。

(2) 北海道の酪農における問題 ～糞尿過剰のメカニズム～

先進国では酪農を大型機械・近代的な施設の導入により、いわゆる大規模化・集約型の方向で発展してきた。それは日本、北海道でも例外ではない。前述の1戸当たりの乳牛数を見てみると、北海道では平均約97頭にまで増加している。これは大規模酪農が盛んなEU諸国とほぼ同水準の値となっている。確かに酪農の大規模化は生産性の増大をもたらしたが、一方で環境への問題も生み出している。その問題というのがふん尿過剰問題である。

そもそも酪農というのは土—草—牛—ふん尿（堆肥）—土という流れを持った循環型農業の代表であった。しかし、その循環の流れが糞尿の過剰により断ち切れようとしているのである。乳牛の1頭当りの乳量が増加すると、それに伴い排出されるふん尿の量も増加する。1960年代には1頭当り平均約40kg/日のふん尿の排出であったのが、1995年には平均約60kg/日¹に増加している。その結果、北海道では酪農家1戸あたりから排出されるふん尿は飼養乳牛数の増加もあって1960年代の30倍の年間平均1200～1400 tに増加している。このように年々1戸あたりの酪農家から排出されるふん尿の量が増加してきており、ふん尿が牧場内で過剰な状態になってきているのである。

このような現状を知って、私は国際競争に勝ち抜くために大規模酪農の展開を余儀なくされ、ふん尿が過剰になってしまっても牧場面積を拡大し、適切に処理を行うことでそのような事態は防げたのではないかと考えていた。しかし、現実には敷地内で処理しきれない量のふん尿が発生している。そこでこのような状況を招いたメカニズムを説明していく。

現在のふん尿が過剰になっているメカニズムを作り出したのは高度経済成長の影響によるものである。高度経済成長による影響として、1つ目に労働市場が拡大されたということがある。それ以前は過剰労働が農村に滞留し、農業を営むことによって生活が可能であれば、その経営は成り立っていた。ところが高度経済成長により労働市場が拡大し、求人対象が新規卒者から中・高年層に及ぶようになると事態は一変した。農業以外への就労機会の拡大によって農村から労働力が流出し、「労働力不足」が生じることになったのである。労働力不足は1人当たりの労働時間と負担を増加させることに繋がり、その結果ふん尿処理に労働を割く時間を減少させてしまったのである。高度経済成長による影響はこれだけではない。高度経済成長による2つ目の影響として、消費者の食生活の洋風化が促され、乳製品への需要が増加した。この需要増に対応するために、酪農家は機械化や飼育頭数の拡大などによって「大量生産」を行うようになったのである。その結果、既に述べたように、飼育頭数や乳牛1頭における乳量が増えたことで排出されるふん尿も増加してしまったのである。しかし、飼育頭数やふん尿が増えているのであれば、牧草面積を増やすことは出来なかったであろうかという疑問がわく。ここで高度経済成長による3つ目の影響がそれを妨げたのである。その影響とは「地価・物価の上昇」である。まず物価の上昇によって酪農に必要な設備・飼料などの値段も上昇し、それが酪農経営に直接打撃を与える。また、地価の上昇によって新たな土地を確保することを困難にさせてしまったのである。

以上のことをまとめると、酪農家は高度経済成長の影響によって、乳製品の需要増に対応するために飼育頭数の拡大を行ったのであるが、地価・物価の上昇によって限られた敷地内での飼育頭数の拡大になってしまった。このような状況からその敷地内では処理しきれないふん尿が発生してしまい、さらに労働力不足によって適切な処理を行うことが出来なくなっている。これらの結果、ふん尿の適切な処理が行われず、長期間ふん尿が利用さ

1 「我が国における家畜排泄物 発生の実態と今後の課題」築城幹典・原田靖生著

れずに素掘り・山積みされ汚染源となって環境被害を引き起こしている。

以上のことがふん尿が過剰になって汚染源となってしまったメカニズムである。そして今、EUとほぼ同水準にある北海道の大規模酪農ではふん尿過剰の問題に直面しているのである。

(3) ふん尿過剰による影響

ここでは、ふん尿が過剰になることでどのような問題が生じるかをみていきたい。近年、ふん尿が過剰になって生じていると考えられている問題は主に4つある。それは

- 悪臭
- 水質汚染（河川と地下水）
- アンモニアの発生
- 温室効果ガス（メタンガス・亜酸化窒素）の排出

である。これらの問題によって環境への負荷が高まっているというのだ。実際にこれら4つの問題をこれから個々に述べていくことにする。

1. 悪臭

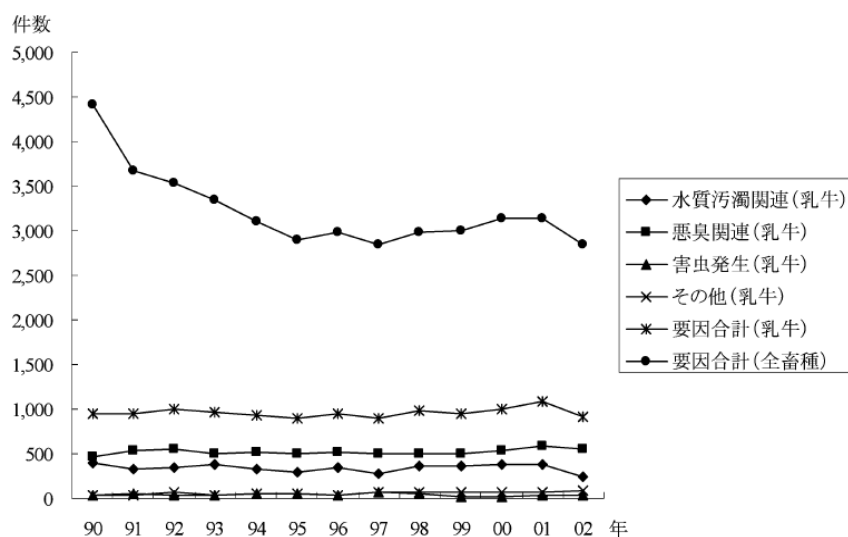
悪臭の被害規模に関して具体的な数値で表すことは困難である。しかし、悪臭は影響が及ぶ範囲が広いことから周辺住民に対し不快感を与え、最も苦情が発生している被害である。そのため悪臭というのは十分に典型的環境汚染であると考えることが出来る。それではどれほどの悪臭への被害規模があるのかを、畜産への苦情件数のデータを基に把握していきたい。

まず、わが国全体での酪農環境問題の発生状況を把握する。用いたデータは、農林水産省調べによるものであり、要因別（水質汚濁関連、悪臭関連、害虫発生、その他）の苦情件数が示されている全国の苦情件数（1990～2002年）の推移である。図1を見てみると、全ての畜産への苦情件数の合計は、1990年の44419件から2002年の2838件まで減少した。ただし、乳牛による苦情件数の合計をみると、1990～2002年でおおよそ900～1,000件の間で推移しており、ほぼ一定であった。それゆえ、乳牛による苦情件数の合計が全畜種に対して占める比率は、1990年の約21%から2002年の約32%に増加した。図2を参考に、乳牛による苦情内容別割合をみると、悪臭、水質汚染関連の苦情件数のみで乳牛による苦情件数の合計に対して9割前後を占めているということが分かり、悪臭、水質汚染が苦情の大半であった。特に悪臭関連の苦情件数が最も大きな比率を占めている。また、悪臭への苦情件数の比率は、1990～2002年で大体横ばいの傾向にあったが、2001年以降に水質汚濁関連の苦情件数が大きく減少したことから相対的に悪臭関連の苦情件数比率が増加した。

また、苦情発生率（＝苦情件数÷酪農家戸数）というものを考えてみる。酪農家の戸数は先ほども触れたように年々減少傾向にある。一方、酪農への苦情件数も全体的には減少している。しかし、酪農家戸数の減少率が苦情件数の減少率を大幅に上回っているために

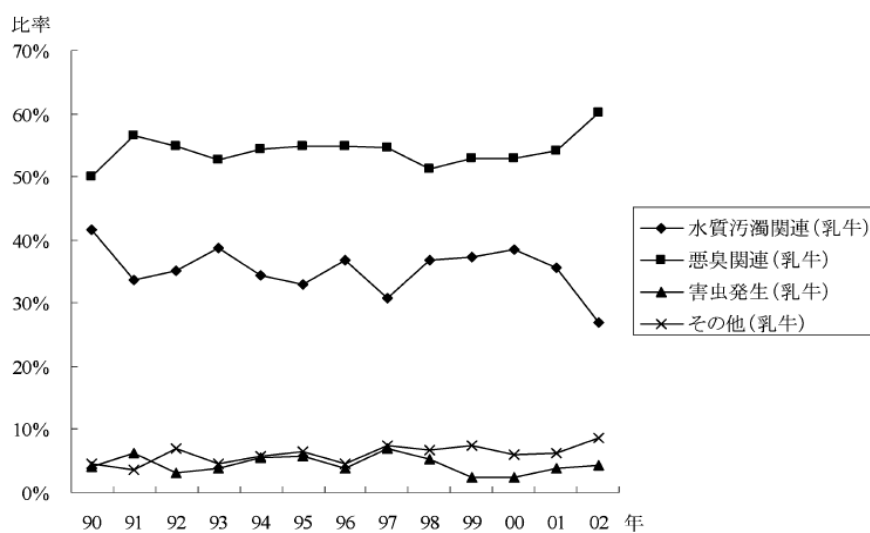
苦情発生率は年々増加傾向にあるということが図3によって見て取れる。つまり、決して苦情件数が減少したからといって悪臭などが改善されてきているわけではなく、むしろその苦情発生率は年々増加しており、これは酪農家1戸当たりの環境負荷発生度合いが大きくなってきていることを示していると推察できる。

図1：乳牛による全国の苦情件数の推移



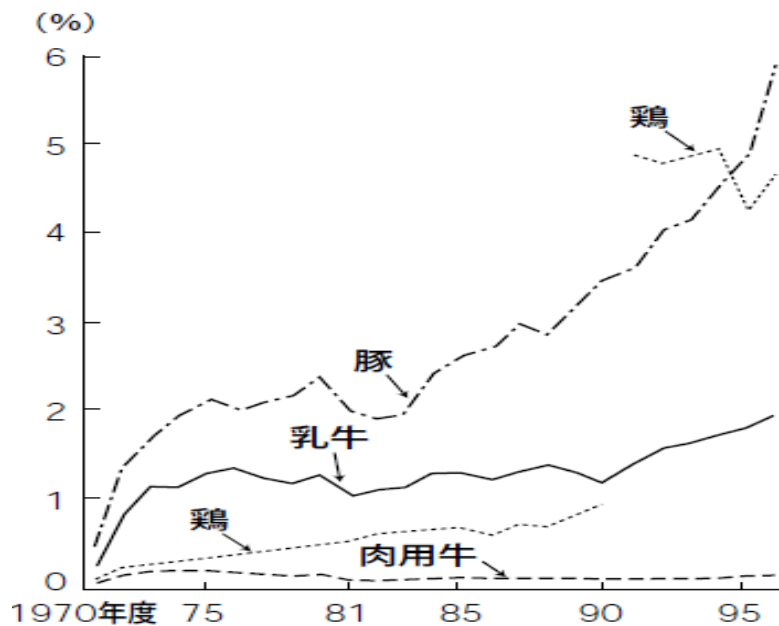
農林水産省のHPより引用

図2：乳牛による全国の苦情件数の比率の推移



農林水産省のHPより引用

図3：苦情発生率の推移



農林中金総合研究所のHPより引用

2. 水質汚染（河川と地下水）

ふん尿による水質汚染に関しても苦情の件数とその割合は悪臭に続いて2番目に高いということが図1と2から分かる。また、水質汚染には河川への汚染と地下水への汚染と2通りの汚染経路がある。それではそれぞれの汚染状況について見ていくことにする。

河川への汚染

河川への汚染は特に北海道のような積雪地帯においてさらに深刻になっている。降雨時や融雪時に流れる水によって、地表に存在するふん尿が河川やその下流の湖・海に流れ込むという現象が起きている。

北海道における酪農経営から排出されるふん尿を化学的的成分からみると、水質汚染上で問題になるのはリンや窒素などといった成分である。農学情報システムに掲載されているデータを用いると、リンや窒素の発生負荷は、北海道の乳牛全体では、窒素約7.7万t、リン1.3万tに及ぶことが分かった。この数値が大きい小さいかは確証の得られるデータ等が得られなかったため言及できないが、リンに関しては無毒ではあるが濃度が高まれば赤潮などを異常な繁殖を引き起こす原因となり、窒素に関しては有害であるため水辺の生物への影響が懸念されている。

また農学情報システムによる畑作—酪農混同地帯を流れる小河の水質について年間変動が調査され、それに基づいて酪農地帯をモデルにした河川水質の汚染評価がなされた。人

為的な汚染によるとみられる成分は、窒素、リン等の溶存態成分であり、早春の融雪期及び降雨後に畜産施設や放牧地周辺でその濃度が高まる傾向があると指摘されている。さらに北海道のような積雪地帯では、早春に河川の流量、水質成分が最大値を示すことが多く、この時期に河川に流入する汚染負荷量が年間負荷量の約半分を占めるということが報告されている。

地下水への汚染

ふん尿による地下水への環境汚染は、地表や地中に存在するふん尿が地下に染み込む雨水や融雪水と共に、地下に移動することによって起こる。地下浸透により流出するふん尿の化学的成分の中で代表となっているのは硝酸イオン(NO_3^-)であり、家畜ふん尿の農地への過剰還元、あるいは裸地への施用により硝酸イオンによる環境汚染は著しく増加する。また井戸の管壁と土壌の間に隙間がある場合には、極めて大きな地下浸透が発生する。

北海道の地下水への影響がどれほどなのかという具体的な事例は報告されていないが、1997年12月の北海道開発土木研究所の報告によれば、道東の酪農地域の62の井戸水では硝酸濃度が高まっており、中には水道水の許容限界である10mg/lを超過していると指摘されている。

以上がふん尿による水質汚染の影響である。現在顕著な被害報告はされていないが、リン、窒素、硝酸イオンなどといった成分は濃度が高まると様々な被害を引き起こす可能性があるため、無視できないものということが出来る。

3. アンモニアの発生

北海道では酪農の大半は大規模草地型酪農が営まれており、その土地で栽培された牧草を乳牛に与え、乳牛から排泄されたふん尿を循環利用している。しかし、その一方でこうしたふん尿の循環利用の各過程においてアンモニアが発生している。

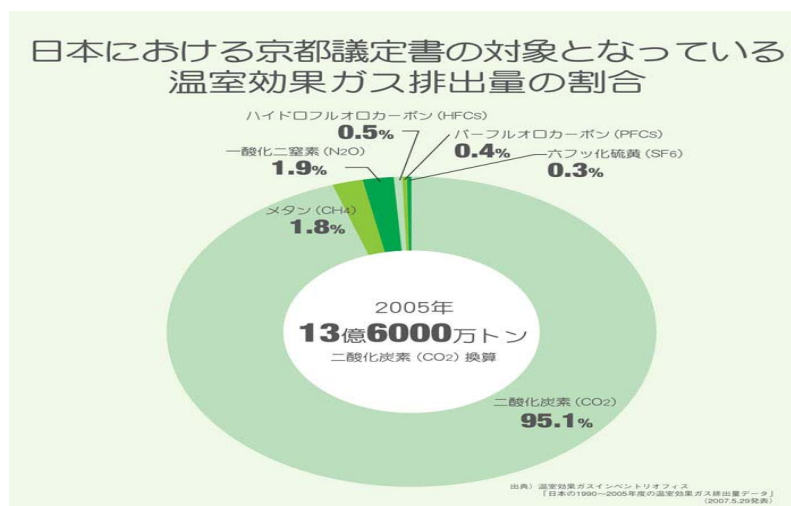
ふん尿からのアンモニアは代表的な悪臭物質であるとともに、酸性雨原因物質として問題視されている。アンモニアは畜舎、ふん尿貯留施設およびスラリー²散布時の草地から多量に発生する。アンモニアそれ自体はアルカリ性だが、降雨により地上に戻ると酸性の硝酸に変化し、土壌や水質を酸性化させるため、酸性環境に弱い植物や水生生物を衰退させるおそれがある。そして、2007年7月の北海道開発土木研究所の月報によれば、大気中のアンモニア負荷全体のうち、農業から生じるものが90%に達し、その主要な発生源が酪農での家畜ふん尿であると指摘されている。ふん尿が過剰な状態であれば、その分余計にアンモニアが発生しており、問題を大きくしていると言える。

² スラリー：ふん尿の混合物でドロドロした状態のもの

4. 温室効果ガス（メタンガス・亜酸化窒素）の排出

乳牛の反芻行為、また乳牛から排泄されるふん尿からはメタンガスや亜酸化窒素といった温室効果ガスが排出される。メタンガスは二酸化炭素のおよそ21倍の温室効果があり、亜酸化窒素に関しては二酸化炭素の310倍の温室効果がある。そしてふん尿から排出されるということは、ふん尿の量が多くなるほど、温室効果ガスの総排出量は増加する。また、従来のスラリー処理（ふん尿を発酵させ堆肥化させる）の時にも常にこれらの温室効果ガスは排出されている。つまり、処理が行われていても、処理が行われていないにも関わらず、ふん尿からは温室効果ガスが排出されているのである。

環境省の総排出量算定方法ガイドラインによれば、1頭の乳牛から排泄されたふん尿からのメタンガスの排出係数は5.41kg/頭/年であり、亜酸化窒素は0.341kg/頭/年となっている。また、排出される温室効果ガスの内訳を見てみると、メタンガスと亜酸化窒素の割合は全体のおよそ3.7%の割合を占めている。そして、帯広畜産大学の研究によると、ふん尿由来のメタンガスと亜酸化窒素はその中で約10%の割合を占めているとされており、これは全体の0.37%の割合に至る。温室効果ガスの総量を二酸化炭素換算で13億6000万 t（2005年）だと考えると、その量は503.2万トンに相当することになる。この値は全体から見れば少なく感じられるかもしれないが、その値だけで考えると膨大な量と考えられる。これ以上の温室効果ガスの排出を防ぐためにも、ふん尿の処理・過剰に対し何らかの対策が必要だと言える。



出典) 温室効果ガスインベントリオフィス

以上がふん尿によって指摘・危惧されている問題であり、ふん尿の過剰はこれらの問題をさらに深刻化させている。このような問題に対し、現在どのような対策が行われているのであろうか。また、適切なふん尿の処理は行われているのであろうか。次章では現在の処理施設の状況や対策を見て、その問題点を探っていく。

第3章 ふん尿の処理・対策の現状

第2章ではふん尿が引き起こす環境負荷、またふん尿の過剰がその問題をさらに深刻化させてしまうことを説明した。そこでこの章では、ふん尿がどのように処理・管理されているのか、また、前述した問題に対し現在どのような対策が行われているのかについて説明していきたい。適正な処理が施されれば貴重な肥料になるふん尿が、環境負荷を引き起こしているという矛盾を、ふん尿に対する処理・管理・対策の現状の中から見出していく。

(1) ふん尿の不適切な管理

乳牛1頭が出すふん尿の量は1日約60kgであり、数十頭規模で飼育している酪農家にとって、ふん尿集めは牛舎内を清潔に保つためにも毎日欠かせない作業となっている。しかし、ふん尿の水分含量は87%とトロトロの状態（スラリー）なため、集積しただけではなかなか乾燥せず、雑菌が繁殖して悪臭の発生源となってしまう。そこで酪農家は、集めたふん尿に水分調整剤を加えて発酵処理を施し、有機成分を分解させ、悪臭を抑えるようにする。このような処理が施されたふん尿は肥料となり堆肥舎で保管・管理され、有効利用ができるようになる。

堆肥舎



農業者大学校のHPより引用

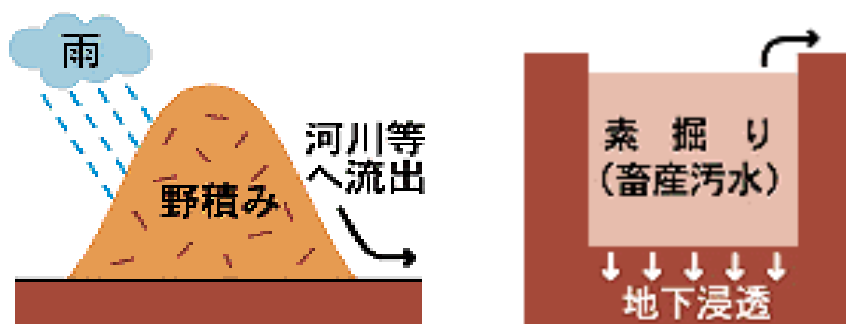
排出された全てのふん尿がこのように適性処理・管理されることが出来れば問題は無いのであるが、実際全てのふん尿がこのように処理・管理されているわけではない。まず、処理された後の堆肥を置くための堆肥舎において不適切な管理が行われている現状がある。例を挙げると、堆肥舎に屋根が設置されていない現状や、堆肥舎の容積不足などが挙げられる。堆肥舎の屋根がついていないと、降雨・降雪時において水が流入し、ふん尿が堆肥舎外に運ばれてしまうという事態が起きる。その結果、雨水・融雪水と共にふん尿の成分

が地下や河川に浸透し汚染の原因になっている。

(2) ふん尿の不適切な処理

1戸当りの乳牛数の増加、乳牛1頭当りのふん尿の排泄量の増加により堆肥舎の容積が不十分になっている。その結果、自家処理施設内で処理しきれないふん尿が発生し、野積みや素掘りによる不適切な処理が行われる現状が作り出されている。野積みや素掘りでふん尿が放置されると、悪臭の被害はもちろん河川や地下水の汚染、害虫の発生を引き起こす。また、自然発酵が起きる可能性もありメタンガスや亜酸化窒素といった温室効果ガスが排出されてしまう。

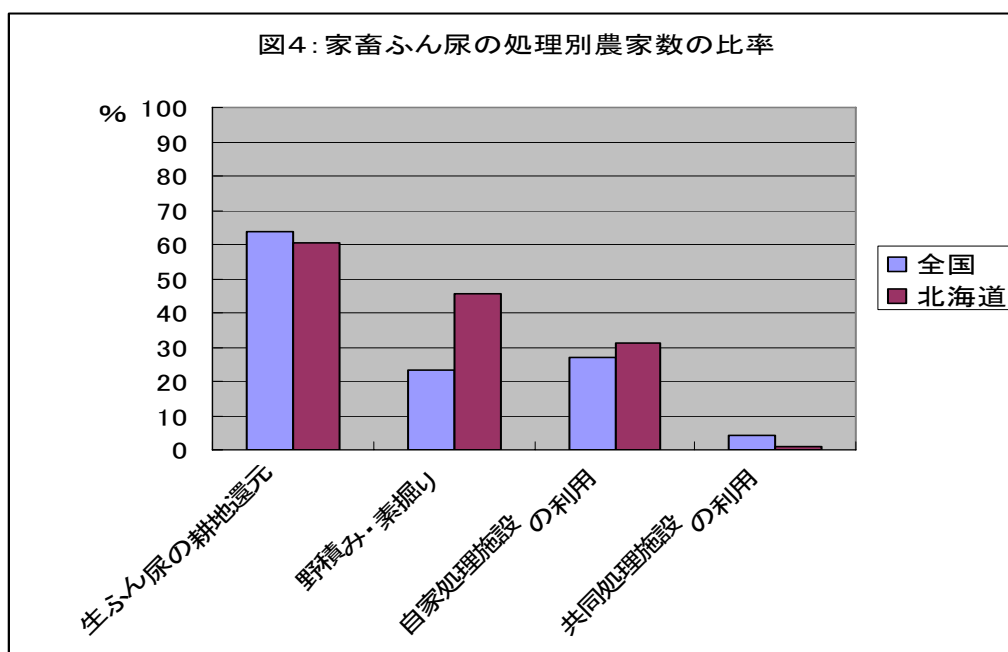
野積みや素掘りの図



環境にやさしい畜産への取り組みHPより引用

それでは北海道において野積みや素掘りといった不適切な処理はどれくらい行われているのだろうか。2000年世界農林センサスの調査結果のデータを参考にとすると、ふん尿の処理別農家数の比率が図4のようになっている。全国のふん尿処理別農家数の比率と北海道におけるふん尿処理別農家数の比率を比べてみると、野積みや素掘りによる不適切な処理が全国では約23%であるのに対し、北海道においてはその比率が約45%に増加している。また生ふん尿の耕地還元割合は全国とほぼ同水準で約60%と高い値を示しているが、ふん尿の過剰により耕地還元できない分も発生しており、その分に関しては野積みや素掘りによって処理されているため60%の農家が全てのふん尿を適切に処理しているわけではない。次に、自家処理施設の割合に関してみてみるとこの割合は全国の水準よりも上回っているが約30%に留まっている。さらに、共同処理施設利用の割合をその割合に足し合わせても30%強にしか伸びない。

以上のことから、北海道における半数近くの酪農家がふん尿処理の際に野積みや素掘りなどの不適切な処理を行っていることが分かった。また自家処理施設や共同処理施設を利用する割合が低いことから、処理施設自体が不足していること、処理施設を利用する時間が無いことが推察できる。



2000年世界農林業センサスのデータより作成

野積みや素掘りの他に北海道ではふん尿の散布時期による不適切な処理も行われている。北海道のような寒冷地では、冬期と早春（積雪期、土壤凍結期、融雪期）の半年間はふん尿を散布しても耕地に還元できず、融雪期に河川に流出してしまう。そのため、河川汚染をさらに深刻なものにする。この問題に対し、冬期間と早春におけるふん尿の散布は禁止されているが、その結果、越冬後に散布する量は膨大になり、労働力不足が顕著になる。実際、全国酪農基礎調査によれば北海道の中規模酪農経営における1人当たり労働時間は365日、約3500時間に達し、余裕のない中で搾乳や飼料生産が優先され、ふん尿の処理・利用は後回しにされているという報告がある。このような状況下で処理しきれないふん尿が生じるのは必然的なものかもしれない。

(3) 現在の対策：「家畜排せつ物法」の制定

ふん尿の不適切な管理・処理に対し現在行われている対策の1つとして、平成11年に「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」（家畜排せつ物法）が制定された。この法律は施行日から5年間においては法律に関する一部の規定の適用が猶予されていたが、平成16年11月1日に本格施行された。そして、この法律によって以前には定められていなかったふん尿の管理に関する基準が設定された。以下に家畜排せつ物法に関する基本的な考えと管理基準について環境省のHPより抜粋し掲載する。

基本的な考え

1. 家畜排せつ物は、これまで、畜産業における資源として、農産物や飼料作物の生産に有効に利用されてきたところである。
2. しかしながら、近年、畜産経営の急激な大規模化の進行、高齢化に伴う農作業の省力化等を背景として、家畜排せつ物の資源としての利用が困難になりつつある一方、地域の生活環境に関する問題も生じている。
3. 他方、我が国全体において資源循環型社会への移行が求められるとともに国民の環境意識が高まる中で、家畜排せつ物について、その適正な管理を確保し、たい肥として農業の持続的な発展に資する土づくりに積極的に活用するなどその資源としての有効利用を一層促進する必要がある。
4. このため、畜産業における家畜排せつ物の管理の適正化を図るための措置及び利用を促進するための支援措置を講ずることにより、我が国畜産の健全な発展を図るものとする。

管理基準

◇施設の構造に関する基準

- ・ふんの処理・保管施設は、床をコンクリートその他の不浸透性材料で築造し、適当な覆い及び側壁を有するものとする
- ・尿やスラリーの処理・保管施設は、コンクリートその他の不浸透性材料で築造した構造の貯留槽とする

◇家畜排せつ物の管理の方法に関する基準

- ・家畜排せつ物は、施設において管理すること
- ・送風装置等を設置している場合には、その維持管理を適切に行うこと
- ・施設に破損があるときは、遅滞なく修繕を行うこと
- ・家畜排せつ物の年間発生量、処理の方法、処理量について記録すること等

以上、環境省「畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」より抜粋

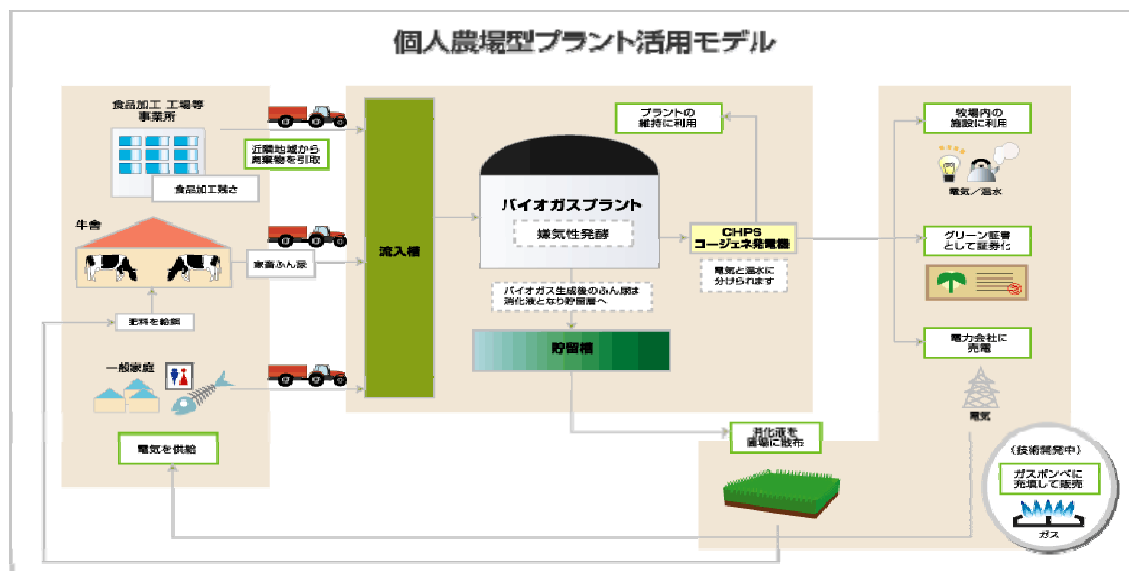
また、家畜排せつ物の利用の促進のための措置として、都道府県による地域の実情に即応した施設整備の目標等を内容とした計画の作成が行われている。しかし、法律で定められたものの北海道では施設整備の目標計画が素案の状態であり、またその目標計画も平成27年度を目標年度に定めているため、本格的に乗り出している状態ではない。そして、私の個人的な考えとしては、ふん尿の適正な管理・処理が出来ない原因の根底に労働力不足や乳牛の多頭育化という問題がある前提で、個々の酪農家にさらなる負担を課すという政策は有効だと言い切れないのではないだろうか。そのため、そういった負担を考慮した上でこの法律の基準を達成する対策を次章では提案していく。

第4章 共同型バイオガスプラントの提案

この章では酪農家の負担を増やすことなく、家畜排せつ物法の基準をクリアするための提案として「共同型バイオガスプラント」の導入を提案していきたい。そのために、まず共同型バイオガスプラントの説明を行い、海外での取り組みを紹介し、メリット・デメリットを明確にし、その後モデル分析をこの章では行っていきたい。

(1) 共同型バイオガスプラント

バイオガスプラントとは、家畜ふん尿を嫌気発酵³させることでバイオガスを発生・回収し、バイオガスをエネルギー化することで発電機を稼働させ電力・熱量を得ることが出来る。そして、余剰電力・熱量を獲得・販売できるシステムになっている。また、嫌気発酵処理が行われた後の消化液は、液肥⁴として利用することが可能になる。このようなバイオガスプラントが持つ技術は、畜産の環境汚染問題が顕在化し、効果的な対策が模索されているなかで、ふん尿の処理と同時にエネルギーの取得が可能なものとして、現在注目されている。畜産におけるバイオガスプラントのメリットは、ふん尿を密閉した空間で嫌気発酵処理するので悪臭問題が回避でき、メタンガスの放散を防止できるだけでなく、消化液が即効性の高い液肥として利用できることである。このようにバイオガスプラントは、環境保全に貢献する技術であると同時に経済的利益をもたらすものとなる。



株式会社コーンズ・エージーHPより引用

³ 嫌気発酵：酸素を好まないに微生物による発酵

⁴ 液肥：水に溶かした肥料。即効性がある。

そして、バイオガスプラントの中でも共同型バイオガスプラントとは、複数の農家が参加・運営するものである。その特性として、農家以外からの有機資源の搬入が少なく、公共性が低いものであるため、参加農家の位置が比較的まとまっていて原料搬送が容易であることが条件となる。

また個別農場型との違いは、乳牛ふん尿処理を共同で行うか、個別の農家自身が行うかの違いである。共同で行う場合、建設費や維持管理作業・経費の分担が可能となり、複数の農家から排泄されたふん尿を1つに集め、処理することができる。また運搬人を雇えば酪農家はふん尿処理に関して労働負担を強いられなくなるという大きなメリットがある。

(2) 海外におけるバイオガスプラントへの取り組み

海外ではEU諸国、特にデンマーク、ドイツ、スウェーデンにおいてバイオガスプラントへの取り組みが進んでいる。まずデンマークを例として挙げると、デンマークでは1973年の第1次オイルショック以降、バイオガス生産の重要性について認識されるようになり、農家の自主的な取り組みがみられた。しかし、醗酵槽当たりのガス量が少ないこと等による技術的・経済的理由からバイオガスプラントは閉鎖された。しかしながら1984年にはじめての共同バイオガスプラントが建設され、1987年には「共同バイオガスプラントの導入に関する行動計画書」が発表された。この計画にともない、プラント導入にかかる補助金が設けられるとともに、プラントどうしによる情報交換を促すことによって、共同型バイオガスプラントが各地に建設されるようになった。そして2001年1月現在、大農家が独自に所有するものが26基、共同によるものが20基、計46基ものバイオガスプラントが存在している。これらのバイオガスプラントでは年間約100万tものふん尿が処理されている。

次にドイツにおける取り組みを見てみると、現在、ドイツでは1000基を超えるバイオガスプラントが稼働しており、目下、第3次のブームにあると言われている。第2次世界大戦後のエネルギー不足時代が第1次ブームで、約50基のプラントが建設されたが、50年代半ばからの石油価格下落によってブームは中断した。その後、1973年のオイルショックで再度バイオガスプラントが注目されるようになり、75基ものプラントが数えられたものの、ガス生効率が悪いことから、これも石油需給の緩和にともない下火となった。しかしながら、環境問題への対応等が求められるようになる中で、1990年に電力供給法が導入され、環境に負荷をかけない発電方法で供給された電力を相対的に高価格で買い上げる義務を電力供給会社に課す政策が打ち出されたことから、あらためてバイオガスが注目を浴びることになった。そして2000年に新エネルギー法が施行され、10年までに温室効果ガスを21%削減し代替エネルギーの割合を倍増することをねらいに、電力供給法による環境に負荷をかけない発電方法で供給された電力の高価格による買取りがさらに強化された。その結果、2001年までに建設されたバイオガスプラントから供給される電力については、売電価格が36%も引き上げられると同時に、20年間、固定価格による買取りが保証されることになった。こうしたことから1990年当初、約100基であったものが、1999年には約800基、2000年では

1200基超となっており、1990年代後半から顕著な伸びを示し、直近での増加幅が最も大きくなっている。

(3) 共同型バイオガスプラントのメリット・デメリット

前述した環境負荷を抑える技術力を持ち、EU諸国で積極的に導入されている共同型バイオガスプラントに関するメリットとデメリットをこの節では述べていきたい。

メリット

・「地球温暖化の対策」

従来の処理方法では排出抑制できなかった温室効果ガス（メタンガス、亜酸化窒素）を放出しないため地球温暖化を抑制する。北海道開発局の試算によれば、100頭規模の従来のふん尿処理施設からは年間61.9 t（二酸化炭素換算）もの温室効果ガスが排出され、また、堆肥舎や野積み・素掘りといった管理の元では1頭当たりのふん尿から年間219.32kgもの温室効果ガス（二酸化炭素換算）が排出されている。しかし、バイオガスプラントではこれらの温室効果ガスを大気中に排出することなくバイオエネルギーを生産することが出来る。

・「悪臭・アンモニア発生の防止」

完全に密閉された状態で処理されるため、家畜ふん尿の臭気が減少し、肥料として散布する際の悪臭が低減される。また、酸性雨の原因ともなっていたアンモニアも発生が抑制されることになる。

・「水質の汚染防止」

家畜ふん尿がプラント内で処理されるため家畜ふん尿が雨や融雪によって河川に流出することがなくなり汚染を防止することが出来る。

・「売電収入の獲得・資源の節約」

嫌気発酵システムでは、発行処理の際に発生するバイオガスを利用して電気や熱を得ることが出来る。そして、外部から新たにエネルギーを購入することなく、獲得電力・熱量のみでプラントを稼動することが可能となる。また、家畜のふん尿から作られた電気や熱は自己消費量を上回り、その結果生み出される余剰電力・熱量を売電し収入を得ることが出来る。これにより、従来の処理方法では消費していた資源（石油・電力）が節約される。

・「労働時間の短縮」

運搬人にふん尿を託せば、農家自らがふん尿を処理する手間が省け、労働力不足の問題が解消される。そして、ふん尿の不適切な処理を防止することが出来る。

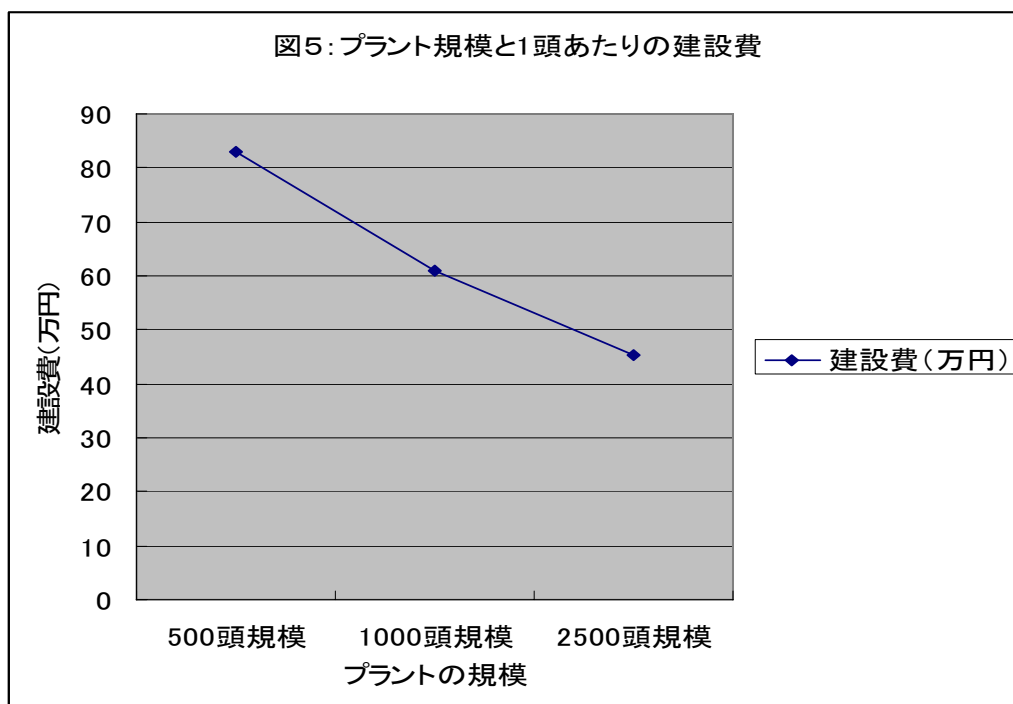
・「液肥の獲得」

発酵過程から得られた消化液は肥料成分の高い即効性の液肥として耕地利用が可能となる。また、消化液はふん尿スラリーに比べて悪臭が少ないため、悪臭軽減に役立つ。そして、酪農家はバイオガスプラントの利用によって液肥を無料で得ることが出来、さらに環境事業のデータによればバイオガスプラントから得られた液肥から農家利用分を除けば、

およそ30%の液肥が余るため、その残存分を販売することで収益を上げることが出来る。実際、100m³のバイオガスからは約25t/日生産される。そして液肥の市場価格を農業用のもので1t、約100円と仮定すると、1m³のバイオガスから生産される液肥は25円/日の価値に相当する。

・「規模の経済が働く」

バイオガスプラントは規模が大きくなるほど経済的になる。「資源循環型酪農・畜産の展開条件 市川治著」を参考に規模別のバイオガスプラントの建設費の平均を見みると、500頭規模のもので4億1500万円、1000頭規模のもので6億1107万円、2500頭規模のもので11億3159万円という価格設定がなされている。次にそれぞれの建設費を、乳牛1頭当りに換算すると、500頭規模のもので1頭当たり83万円、1000頭規模のもので1頭当たり約61.1万円、2500頭規模のもので1頭当たり約45.26万円となる。この値の変化をグラフに表すと以下の図5になる。



このようにプラントの規模が大きくなればなるほど1頭当りにかかる建設費は減少していく。また、維持費に関しても同じような結果が出来ており。バイオガスプラントには規模の経済が働くと言える。得に、北海道のような大規模酪農を行っている地域ではこのメリットは活かせることが出来る。

デメリット

- ・「建設費、維持費の高コスト」

「資源循環型酪農・畜産の展開条件 市川治著」を参考に必要な建設費を見てみると、2500頭規模のもので平均が11億3159万となっている。また、維持費に関しても同様に高価で、2500頭規模のプラントには約4363万円必要となってくる。そのためこのコストを上回るような注意をして導入しなければいけない。

- ・「運搬費のコスト」

共同型バイオガスプラントのメリットとして、運搬人に任せればその分酪農家個人のふん尿処理に費やす労働時間は削減され、負担は増えない。しかし、運搬費がその分必要になってしまうために、その分のコストは余計にかかってしまうことになる。

以上が、共同型バイオガスプラントの導入に関するメリットとデメリットである。次のモデル分析ではこのメリットとデメリットを元に、バイオガスプラントで考えられる収入と支出を考えていきたい。

(4) バイオガスプラント導入に関する支出と収入

バイオガスを導入した際に考えられる支出と収入の2つの面をそれぞれ見ていく。まずは支出の面を考え、次に収入の面を考えていく。

支出面

- ・建設費

バイオガスプラントの建設費は、扱うふん尿の規模の違いによって、その費用は違ってくる。今回は「資源循環型 酪農・畜産の展開条件（市川治著）」で紹介されている建設費を参考にする。

- ・維持費

バイオガスプラントの維持費には人件費、水道代、消耗品が含まれている。これも「資源循環型 酪農・畜産の展開条件（市川治著）」で紹介されている維持費を参考にする。

- ・運搬費

各農家からふん尿を回収する際の運搬コストも支出に考えられる。

収入面

- ・売電、売熱収入

ふん尿を発酵することで獲得できる電力・熱量から、プラントの稼動に必要な電力・熱量分を差し引いた余剰電力・熱量を売ることによって得られる収入。

- ・余剰液肥

本来なら購入しなければいけない液肥をバイオガスプラント内で作り出すことが出来るため、無料で手に入れることが出来る。そして、個々の酪農家に必要な液肥の量を差し引き、残りの液肥を販売することで得られる収入。

これらがバイオガスプラントの導入に関する支出と収入である。ただし、収入面においてバイオガスプラントのメリットを考えると、売電収入や液肥といった私的収入だけでなく、温室効果ガスの削減、資源の節約が可能となる。そういった環境負荷を軽減する部分を収入面に組み込むことを考えていく。

・環境付加価値

更なる収入を考えるに至って、今回の論文では「グリーン電力証書システム」というものを取り入れる。風力やバイオマスなどの自然エネルギーによる電気は、「電気そのものの価値」の他に、省エネルギー（化石燃料削減）・二酸化炭素排出削減などの価値をもっている。これを「環境付加価値」と呼び、この環境付加価値を電気と切り離して証書という形で取引することを可能にしたのが、グリーン電力証書システムである。グリーン電力証書システムにより、証書を保有する企業・団体は、記載されている発電電力量相当分の環境改善を行い、自然エネルギーの普及に貢献したとすることが出来る。また、発電設備を所持していなくても削減等自然エネルギー（環境付加価値部分）を利用でき、企業・団体等が参加できる地球温暖化防止につながる仕組みとして関心が高まっているシステムである。

グリーン証書システムの図



日本自然エネルギー株式会社HPより引用

このシステムにより、発電者は電気自体の売電収入のほかに、環境付加価値の提供による収入が得られ、設備を運営・増強等行うことが出来ることになる。よって今回の論文においてもこのグリーン電力証書システムを取り入れ、収入面に含めることにする。その結果バイオガスプラント導入による収入は環境付加価値を足し合わせたものになり、それをここでは「社会的収入」と呼ぶことにする。次節ではこれらの支出と収入を考えたモデル分析を行う。

(5) モデル分析

前節で考えた、支出と収入のそれぞれを式に表すと以下のようなになる。そして、式をモデルにすると図6のように表すことが出来る。

$$\text{支出： } C = K(\alpha) + [I(\alpha) + R(\alpha)] \times Q$$

$$\text{社会的収入： } \pi = [G(\alpha) \times P_1 + F(\alpha) \times P_2 + T(\alpha) \times H + W(\alpha)] \times Q$$

K：建設費 I：維持費 R：運搬費 G：余剰電力 F：余剰熱量

P_1 ：売電単価 P_2 ：熱量単価 T：余剰液肥 H：液肥の価格 W：環境付加価値

Q：年数 α ：乳牛数、ふん尿量

図6：モデル分析

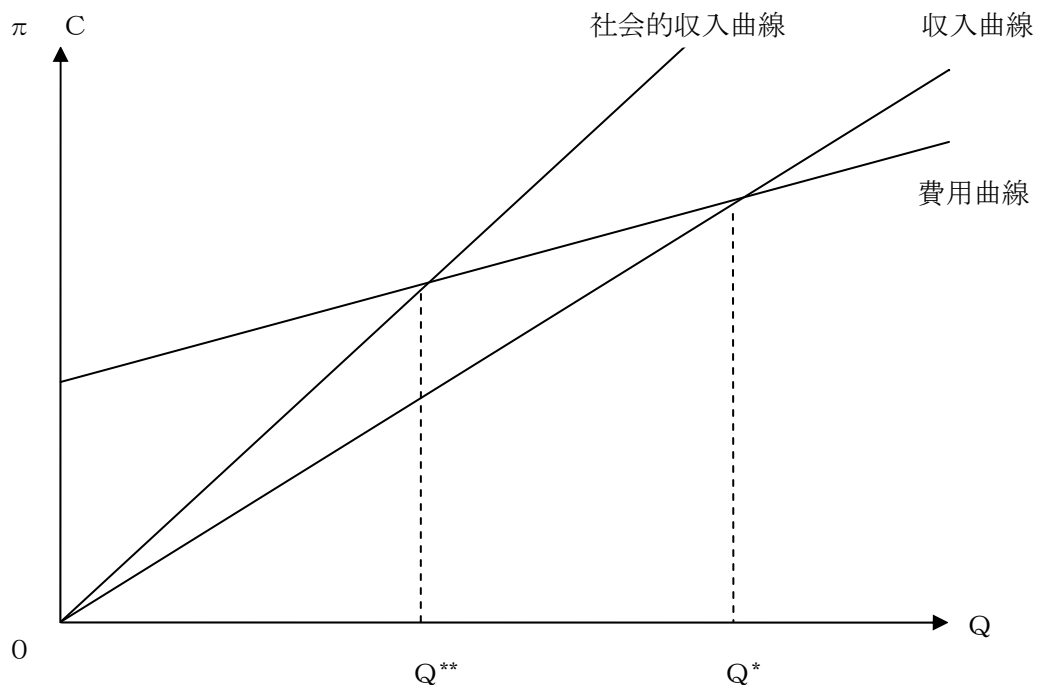


図6から分かることは、収入曲線と費用曲線の交わる点 Q^* において収入曲線が費用曲線を上回る。つまり、 Q^* 年において全ての費用を回収し、それ以降利益を生むことが出来るのである。一方、社会的収入曲線は環境付加価値を含んでいるために収入曲線と比較して傾きは急であり、費用曲線との交点は左にシフトし Q^{**} となる。つまり、それだけ早く費用を回収することが出来るのである。次章では、式に具体的な数値を当てはめ、この Q^{**} 年を求め、共同型バイオガスプラント導入にどれほどの現実性があるのかを探っていきたい。

第5章 分析

第4章ではバイオガスプラント導入によって考えられるメリット・デメリットを挙げ、その上で導入による支出・収入を考えた。そして、その支出と収入から、バイオガスプラントの導入後何年でその費用を回収し、利益を生み出すことができるのかというモデル分析を行った。以上のことを踏まえ、この章では具体的な数値を当てはめ、回収年数を算出し、バイオガスプラント導入の現実性を求めていきたい。

(1) 導入地域

今回、共同型バイオガスプラント導入地域として北海道の十勝平野を選択する。十勝の酪農状況を説明すると、1戸当りの乳牛数が十勝の牛の総数は、乳牛と肉牛合わせて約37万頭であり、その頭数は十勝の人口とほぼ同数に相当する。そして、20万頭を超える乳牛は、道内の約24%を占め、乳牛の飼育頭数、生乳生産量共に北海道一を誇っている。経営規模の拡大と機械化の導入が1戸当たりの飼養頭数を増やし、平成17年で114頭とEU諸国の水準に匹敵する大規模経営になっている。このような状況から十勝の酪農はふん尿過剰が問題になっており、ふん尿を有効利用しなければ持続可能な酪農は成立しない。しかしその反面、バイオガスプラントの規模の経済がより生きてくるとも言うことも出来る。よって今回は十勝の酪農家をターゲットにし、22戸の酪農家、2500頭の乳牛を扱うことにする。

(2) 費用曲線

・建設費

「資源循環型 酪農・畜産の展開条件（市川治著）」を参考にし、2500頭規模のバイオガスプラントに必要な建設費を平均の11億3159万円と設定する。

・維持費

「資源循環型 酪農・畜産の展開条件(市川治著)」を参考にし、2500頭規模のバイオガスプラントに必要な維持費を平均の4363万円/年と設定する。この維持費には主に人件費、水道代、各種燃料、消耗品などが含まれている。

・運搬費

農畜産業振興機構の調べによれば、運搬委託料として1000頭規模のもので年間650万円かかるという報告がなされている。よってこの値を2.5倍し、2500頭規模のものに当てはめてみる。その結果1625万円/年という値になり、今回の2500頭規模の共同型バイオガスプラント導入の際に必要な運搬費として設定する。

以上の建設費、維持費、運搬費を式に代入すると以下のようになり、これが費用曲線となる。

$$\begin{aligned}
C &= K(\alpha) + [I(\alpha) + R(\alpha)] \times Q \\
&= 1131590000 + (43630000 + 16250000) \times Q \\
&= 59880000Q + 1131590000
\end{aligned}$$

(3) 収入曲線

売電・売熱収入

売電・売熱収入を求める手順として、まずふん尿の量を導き出す。そして、ふん尿の発酵から発生するバイオガスの量を求め、そのバイオガスから得られる電力・熱量を求める。その値からプラントの稼動に必要な電力・熱量を差し引き余剰電力・熱量を算出し、最後にその余剰電力・熱量に売電単価をかけ売電収入を求めていく。

・ふん尿の量

1頭から1日に排泄されるふん尿は約60kgと言われている。よって今回の2500頭の乳牛からは150 tのふん尿が1日に排泄されることになる。

・バイオガスの発生量

バイオガスプラントを建設する株式会社コーンズ・エージ社によれば6.5 tのふん尿から発生するバイオガスは217m³とされている。そこで比率により150 tから得られるバイオガスプラントを求めていきたい。

ふん尿量の比率とバイオガス量の比率は

$$150 : 6.5 = X : 217$$

となる。よってこの式を展開しバイオガス量Xを求めると

$$X = 5007.6923$$

以上より、ふん尿150 tから得られるバイオガスはおよそ5008m³ということになる。

・獲得電力・熱量

株式会社コーンズ・エージ社によればバイオガス217m³から獲得できる電力は465kW/日、熱量は618596kcal/日とされている。よって5008m³のバイオガスから得られる電力・熱量を比率により求めていく。まず、獲得電力を求める。

バイオガスの比率と獲得電力量の比率は

$$217 : 5008 = 465 : Y$$

となる。よってこの式を展開し獲得電力量Yを求めると

$$Y = 10731.428$$

以上より、バイオガス5008m³から得られる電力量は約10731kW/日ということになる。

次に獲得熱量を求める。今、バイオガスの比率と獲得熱量の比率は

$$217 : 5008 = 618596 : Z$$

となる。よってこの式を展開し獲得熱量を求めると

$$217Z = 3097928768$$

$$Z = 14276169.437788019$$

以上より、バイオガス5008m³から得られる熱量は約14276169kcal/日ということになる。

・消費電力・熱量

バイオガスプラント稼動の際、消費電力は株式会社コーンズ・エージェ社によれば6.5万tのふん尿を処理するプラントでは48kW/日となっている。そのため150万トン进行处理する場合の必要な電力を比率で求める。

ふん尿量と消費電力の比率は

$$6.5 : 150 = 48 : L$$

となる。よってこの式を展開しプラント消費電力Lを求めると

$$6.5L = 7200$$

$$L = 1107.6923$$

以上より、ふん尿150 t を処理する2500頭規模のバイオガスプラント消費電力は約1108kW/日となる。

次に消費熱量を求める。6.5 t のふん尿を処理する際のプラント消費熱量は333500kcal/日となっている。よって150 t のふん尿の処理に必要な消費熱量を比率によって求める。

ふん尿量と消費熱量の比率は

$$6.5 : 150 = 333500 : N$$

となる。よってこの式を展開しプラント消費熱量Nを求めると

$$6.5N = 50025000$$

$$N = 7696153.8$$

以上より、ふん尿150 t を処理する2500頭規模のバイオガスプラント消費電力は約7696154kcal/日となる。

・余剰電力・熱量

獲得電力・熱量からプラント消費電力・熱量を差し引いて発生する余剰電力・熱量を算出する。その結果、余剰電力G、余剰熱量Fは以下のようになった。

$$G = 10731 - 1108 = 9623 \text{ kW/日}$$

$$F = 14276169 - 7696154 = 6580015 \text{ kcal/日}$$

・売電・売熱収入

余剰電力を売電することで売電収入が得られるのであるが、売電単価はその発電施設に

より金額が変わってくるためおよそ平均の5円/kWと仮定する。その結果、今回得られた余剰電力を売電することで得られる収入は

$$9623 \times 5 = 48115 \text{円/日} \dots \textcircled{1}$$

という結果になった。これは1日で得られる収入であり、1年間では1756万1975円もの収入が得られるということになる。

次に、売熱収入に関して考える際に、東京ガスのデータを使う。東京ガスのデータによれば都市ガス1m³から発生する熱量は45MJとなっている。また、単位換算する場合1kcalは4.2kJとなっているので、今回得られた余剰熱量6580015kcalは27636063kJ、つまり27636.063MJに相当する。これをm³の単位に直すために45MJで割ると約614m³となる。そして、1m³の価格は都市ガスでは約140円となっているのでこの価格を使う。

$$614 \times 140 = 85960 \text{円/日} \dots \textcircled{2}$$

この①と②を足し合わせると余剰電力・熱量により獲得できる収入を求めることが出来る。

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} = 48115 + 85960 = 134075 \text{円/日}$$

よって、年間で得られる収入は

$$134075 \times 365 = 48937375 = 4893 \text{万}7375 \text{円/年}$$

以上より、1年間でバイオガスプラントによって獲得できる余剰電力・熱量から得られる収入は4893万7375円ということが分かった。

液肥収入

バイオガスプラントの利用により、悪臭のない液肥を酪農家は無料で得ることが出来る。そして、得られた液肥から農家の使用分を差し引き、残存する液肥を販売することで得られる金額を収入面に計上する。前述したように、環境事業のデータによれば100m³のバイオガスからは約250/日の液肥が生産され、その約70%が酪農家によって消費される。よって、今回は残り30%の液肥を販売するという設定にする。また、液肥の市場価格を農業用のもので、おおよその平均ではあるが10、約120円と仮定する。

発生する液肥の総量

$$5008 \div 100 \times 25 = 12520 \text{/日}$$

残存する液肥の量

$$1252 \times 0.3 = 375.60 \text{/日}$$

販売収入

$$375.6 \times 120 = 45072 \text{円/日}$$

以上の通り、液肥販売による1日の収入は4万5072円となった。これは1年間では1645万1280円にもなることが分かった。そして、余剰電力・熱量・液肥による収入をまとめると収入曲線 π_1 は以下のような式になる。

$$\begin{aligned} \pi_1 &= (48937375 + 16451280) Q \\ &= 65388655 Q \end{aligned}$$

$$=6538万8655Q$$

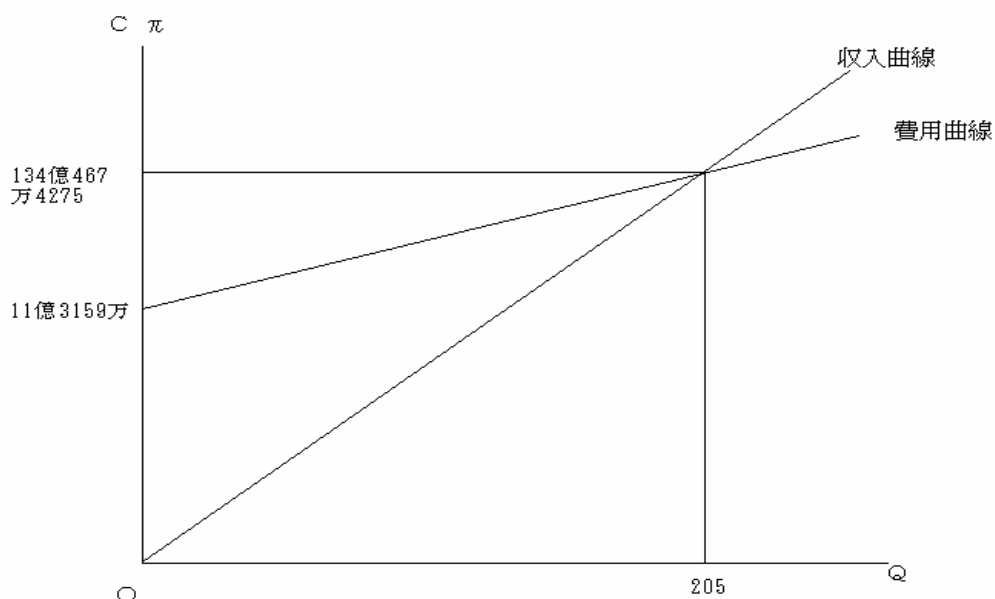
また支出曲線は以下の式として表した。

$$C = 59880000Q + 1131590000$$

$$= 5988万Q + 11億3159万$$

以上の支出曲線と収入曲線をグラフで表すと図7になる。

図7：収入曲線と費用曲線



この図7から分かることは、バイオガスプラントを導入して収入曲線が費用曲線を上回るのは約205年後ということである。この数値を見る限り、現実的に考えて、導入は困難であると言わざるをえない。よって、余剰電力・熱量・液肥以外からの収入源の確保が必要である。そこで前述したグリーン証書システムを取り入れ、環境付加価値をこの収入面に組み込んだ場合の費用回収年数を求めていく。

(4) 社会的収入曲線

グリーン証書システムにより環境付加価値を収入面に組み込む作業を行う前に、バイオガスプラントの導入によってどれだけの環境負荷が軽減されるのかをまとめていきたい。また、今回の論文では環境負荷の軽減として、温室効果ガスの削減に焦点を当て環境付加価値を求めていく。実際、悪臭や河川汚染などの軽減もバイオガスプラントのメリットとして考えられるのだが、数値としてそれらを評価することが困難であるため、今回は温室効果ガスの削減に着目することにした。

ふん尿から放出されるメタンガスは二酸化炭素と比較して21倍の温室効果を持ち、また亜酸化窒素は310倍の温室効果を持っている。そして、第2章で触れたように、100頭規模の

従来のふん尿処理施設からは年間61.9 t（二酸化炭素換算）もの温室効果ガスが排出され、また、堆肥舎や野積み・素掘りといった管理の元では1頭当たりのふん尿から年間219.32kgもの温室効果ガス（二酸化炭素換算）が排出されている。

また、第3章のデータから、ふん尿の処理に関して約40%の農家が野積みや素掘りを行っており、残りの約60%の農家は自家処理施設でふん尿を処理していると考えられる。それゆえ、今回の2500頭規模の乳牛から排泄されるふん尿を40%は野積みや素掘りによって処理され、残りの60%は自家処理施設で処理されると設定する。その結果、それぞれの処理方法で処理されていたふん尿の量は

野積み・素掘り： $150 \times 0.4 = 60$ t / 日

従来の処理施設： $150 \times 0.6 = 90$ t / 日

ということになる。

次にこれらの処理方法から排出される温室効果ガスの量を考えていきたい。まずは従来の処理施設で排出していた温室効果ガスの量を求める。

100頭規模の処理施設から年間61.9 tの温室効果ガスが排出されていたので、これを1日の排出量に直すと約170kg/日ということになる。また、100頭規模の乳牛から排泄されるふん尿量は6.5 t / 日である。現在90 tのふん尿を処理する場合を考えるのでふん尿の比率を用いて温室効果ガスの排出量を求める。

ふん尿の量の比率と温室効果ガスの排出量の比率は

$$90 : 6.5 = A : 170$$

よって90 t / 日の処理施設からの温室効果ガス排出量Aは

$$A = 2550 \text{ kg / 日}$$

この値が従来の処理施設で排出される温室効果ガス（二酸化炭素換算）の量である。

続いて野積みや素掘りによって排出される温室効果ガスの量を求めていく。今、野積み・素掘りされた1頭当たりのふん尿からの温室効果ガス排出量は219.32kg/年になっている。これは1日当りに直すと、約0.6kg/日になる。また60tのふん尿を排泄する乳牛数は1000頭規模になるので、頭数の比率と温室効果ガス排出量の比率によって60tの野積み・素掘りされたふん尿から温室効果ガス排出量を求める。

$$1000 : 1 = B : 0.6$$

よって60 t / 日の野積み・素掘りされたふん尿からの温室効果ガスBの排出量は

$$B = 600 \text{ kg / 日}$$

この値が野積み・素掘りされたふん尿から排出される1日当りの温室効果ガスの量である。

次に、以上のA、Bを足し合わせると

$$A + B = 3150 \text{ kg / 日}$$

これを1年間の排出量で表すと

$$3150 \times 365 = 1149750 \text{ kg / 年}$$

ということになる。つまり、バイオガスプラントを導入する以前はこれだけの温室効果ガ

ス（二酸化炭素換算）が大気中に放出されていたことになる。しかし、バイオガスプラントでは密閉の状態ですん尿を処理するため温室効果ガスの排出を防ぐことができる。

そこで、この温室効果ガス削減量を環境付加価値として金額で表していく。ただし、2004年の排出権取引価格を用いて、1トン6ユーロで計算する。

$$1149.750 \times 6 = 6898.5 \text{ユーロ}$$

これを1ユーロ150円と仮定して、日本円に換算する。

$$6898.5 \times 150 = 1034775 \text{円}$$

以上より、環境付加価値は年間で103万4775円と分かった。これを収入曲線に足し合わせて社会的収入曲線 π_2 を求めると

$$\begin{aligned} \pi_2 &= (6538 \text{万}8655 + 103 \text{万}4775) Q \\ &= 66423430 Q \\ &= 6642 \text{万}3430 Q \end{aligned}$$

これが今回求めた社会的収入曲線となった。

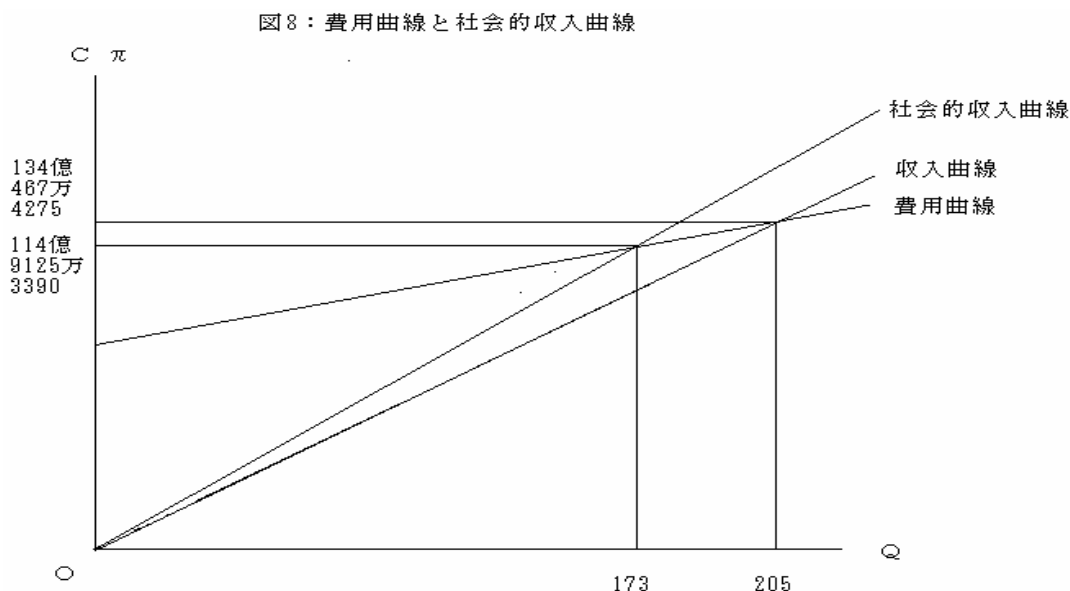
(5) 結果

この章で求めた支出曲線と社会的収入曲線の式は以下のようになった。

$$C = 59880000Q + 1131590000$$

$$\pi_2 = 66423430Q$$

そしてこの2つの式を図8に表した。



この図8から、環境付加価値を収入面に加えた場合、費用を回収できる年数が約173年になることが分かった。そして、この結果は環境付加価値を加えない場合の205年と比較して、約32年早まるという結果になった。ただし、環境付加価値を加えたことで回収年数は確か

に早まったが、酪農家1代で費用を回収することは困難な結果になった。その問題点としてはやはり建設費の高さが挙げられるだろう。また、日本の売電単価の安さも収入面を抑えてしまう。しかし、今回の環境付加価値には温室効果ガスの削減量のみを考えているため、水質汚染や土壌汚染、悪臭といったその他の要因の削減分を考慮に入れることが出来れば収入面は改善できることが言える。また、温室効果ガスについても今回は二酸化炭素1t6ユーロで計算したが、今後の排出権市場の拡大を考えればその取引価格も上昇し、更なる収入は見込めるだろう。そうすれば共同型バイオガスプラント導入はより現実的なものになると考えられる。

終章

本論分では持続可能な酪農を目指すべくバイオガスプラント導入の現実可能性を考えてきた。バイオガスプラント導入によって悪臭、水質汚染、アンモニアの発生、温室効果ガスの排出の削減が可能になり、特に温室効果ガスの削減に特化して環境付加価値を算出した。その結果、バイオガスプラント導入後約173年で利益を生むことが分かった。しかし、バイオガスプラント導入による環境付加価値は温室効果ガスの削減だけではないことを強調したい。温室効果ガスだけでなく悪臭や水質汚染、アンモニアの発生も十分問題になっており、それらの環境負荷の削減分も環境付加価値に組み込むことが出来れば、バイオガスプラントの評価はもっと高くなるだろう。

また、確かに費用回収年数に173年というのは長い年月を必要とするかもしれないが、今何らかの対策をしなければそもそも酪農自体の存続が困難になっていくと考えれば決して長すぎる年数ではないのではないだろうか。何よりも大切なのは目先の利益ではなく持続可能に酪農が展開され続けることである。そのための1つの解決策としてバイオガスプラントが普及し、環境に優しい酪農が展開されていくことを期待する。

参考文献リスト

- 「資源循環型畜産の展開条件」 畜産経営経済研究会 栗原幸一・荒井肇・小林信一著
- 「地域農業の発展と生産者組織」 志賀永一著
- 「酪農の地域システム」 梅田克期著
- 「北海道酪農の生活問題」 河合知子著
- 「ぜひ知っておきたい日本の畜産」 平野進著
- 「資源循環型酪農・畜産の展開条件」 市川治著
- 「日本の酪農地域」 菊池俊夫著
- 「我が国における家畜排泄物 発生の実態と今後の課題」 築城幹典・原田靖生著
- 日本の酪農 一社団法人中央酪農会議 <http://www.dairy.co.jp/>
- 農林水産省 <http://www.maff.go.jp/index.html>
- 農林中金総合研究所 <http://www.nochuri.co.jp/>
- 独立行政法人 北海道開発土木研究所 http://www.mlit.go.jp/annai/agency/ceri_.html
- 環境省 <http://www.env.go.jp/>
- GIO 温室効果ガスインベントリ <http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html>
- 農業者大 学校 <http://farmers-ac.naro.affrc.go.jp/old/index.html>
- 環境にやさしい畜産への取り組み <http://nagasaki.lin.go.jp/kankyoindex.htm>
- 農林業センサス <http://www.maff.go.jp/census/>
- 北海道の公式ホームページ <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/index.html>
- 株式会社コーンズ・エージェンシー <http://www.cornesag.com/jp/>
- 北海道開発局 <http://www.hkd.mlit.go.jp/index.html>
- 環境事業 <http://www6.ocn.ne.jp/~kamui/page027.html>
- 日本自然エネルギー株式会社 <http://www.natural-e.co.jp/index.html>
- 農畜産業振興機構 <http://alic.lin.go.jp/>
- 東京ガス <http://www.tokyo-gas.co.jp/>