

21. 有機物の再資源化による循環システムの確立

TOWARDS TO DESIGN THE RECYCLING SYSTEM OF ORGANIC WASTE MATERIALS

楠部孝誠* ・ 津村和志* ・ 内藤正明*

Takasei KUSUBE, Kazushi TSUMURA, Masaaki NAITO

ABSTRACT; The purpose of this paper is to propose an appropriate recycling organic materials system based on ecological cycle. The final target of this research is to evaluate quantitatively the benefit of recycling organic materials and to propose a scenario to construct an appropriate recycling system. In this paper, the amount of some organic wastes from food industries is investigated. The recycling system, in which are the by-products recycled into the food industries, livestock raising and agriculture, is proposed and evaluated from the view point of physical, economic and social conditions which lead the social shift from a one way resource use system to a recycling one. In particular, the relation between the food industries and the livestock raising is simulated according to the change of exchange rate and Chicago corn rate. Finally, an appropriate balance of industry to perform the recycling organic system is considered.

KEYWORDS; Recycling system, by-product, organic materials, economy
e, appropriate balance of industry

1. はじめに

我が国の廃棄物処理は、環境への影響、最終処分場問題、処理コスト上昇から「ゴミの発生量を抑制する」「リサイクルを推進する」「燃料利用等の二次利用を進める」といった徹底したリサイクルへの転換が急務になっている。今後の国際社会を見据えた企業では、既に廃棄物削減、あるいは有効な処理方法の模索に取り組み始めている。しかし、今後 10～20 年の間には、産業界全体が製造工程を見直し、廃棄物を抑制する『低負荷型あるいは環境調和型システム』への転換を迫られることは必定である。本来、製造過程において発生するあらゆる形態の廃棄物は、別工程あるいは他産業への原材料となる可能性があり、その資源価値を損なわず、有効利用する必要がある。特に、資源小国である我が国がこれまでのように諸外国の資源を搾取し、大量生産・消費・廃棄といった一過型システムを維持するのは既に限界に達している。我々は早急に資源の有効利用を基調とする循環システムの構築を急がねばならない。

無機系（工業系）の循環については、これまでに様々な研究・技術開発が行われ、昨今では「ゼロ・エミッション構想」という目標を掲げ、新たな産業システムの構築に取り組み始めている。しかし、本質的に製造・輸送・処理の各段階で化石資源に依拠する無機系循環は困難な問題を多く抱えている。そこで、本研究では社会全体が循環システムへ移行する第一歩として、有機系（食品系）物質の資源循環を提案する。これは、製造段階では地球系外の太陽エネルギーに依存し、処理段階では微生物による処理を行うために無機系循環と比較して、量的・質的にもその持続性が見込まれる。

*: 京都大学大学院工学研究科環境地球工学専攻 Department of Global Environment Engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto University.

This work has been supported by the CREST (Core Research for Evolutional Science and Technology) of Japan Science and Technology Corporation (JST).

具体的には、有機系循環の実態分析から現状の問題点を把握する。さらに幾つかの食品系副産物を取り上げ、それが循環するための物理的要因及び経済的要因を分析する。また、循環が機能する最適な産業の規模について検討する。

2. 有機性廃棄物の現状

食品製造業から排出される有機性廃棄物は発生過程から大きく2つに分類できる。1つは、食品工場における製造過程で発生するいわゆる副産物と呼ばれるものである。これは、おから、醤油粕、ビール粕といった類のものであり、主な食品副産物を表1に示す。

副産物	年間発生量	製品生産量に対する発生率
ビールかす（湿ベース）	700～1,050千t	10～15% *1
焼酎粕	336,121t *2	1.5倍
おから（湿ベース）	744,600t	1.3～1.4倍
醤油かす	100,000t	25% *3
バガス	418,500t	25%
ミカン果汁残渣	22,500～153,300t	45.5%
ミカン缶詰残渣	31,900～71,600t	39.1%
リンゴ果汁残渣	43,800～85,500t	71.4%
コーヒーかす	451,575～752,625t	1.5～2.5倍 *4
茶かす	60,000t	5g *5

*1 ビールkl当たり発生率 *2 乙類生産量の90%値 *3 原料に対する発生率

*4 平均は2倍程度 *5 250g製品製造に対して発生

表1. 主な副産物の発生量

副産物の一般的な特徴は、単一物質でかつ比較的大きなロットで排出されるため、回収に有利で再資源化しやすい。しかし、その性状は含水率が高く、腐敗しやすいため、保存が効かない。さらに、季節変動が大きいといった再資源化を困難にする一面も持っている。もう1つは、未利用廃棄物である。これは食品製造後の製品検査段階、流通過程、販売過程で発生する食品廃棄物であるが、これらのほとんどは包装資材とともに廃棄されており、特に流通段階・店舗等において発生することから、多種多様な物質が分散して排出される。そのため、このほとんどは焼却・廃棄処理されている。

では、これらの食品副産物・廃棄物はどのような廃棄処理をされているのか。まず副産物についてその動向を調べると、飼料化・燃料化・堆肥化・焼却処分に分類できる。表1の副産物では、ビール粕は発生量の約95%が飼料化利用されている。焼酎粕は特に含水率が高く、腐敗しやすいこともあり、約50%が海洋投棄され、飼料化・堆肥化はそれぞれ約20%となっている。おから、醤油粕は、大手メーカーの一部以外はほとんどが焼却処分されている。バガス（精糖残渣）、コーヒー粕はそのほとんどが工場内で燃料として利用されている。果汁残渣は果実生産高・季節性といった影響要因が多いことから、処理業者による最終処分がそのほとんどである。茶かすは大半が家畜の敷き料、堆肥化の副資材として利用されている。飼料化・堆肥化・燃料化といった再資源化が図られているのは、大手メーカーがオンサイト処理を行っている場合のみといってよく、零細な中小規模の製造業者からの副産物はほぼ全量が焼却処分されている。

次に食品廃棄物であるが、これは全量焼却処分されていると考えられる。食品副産物と食品廃棄物の大きな相違点は、発生時の形状である。食品廃棄物はその多くが包装された状態で排出されている。販売方法の変化、消費者の意向、衛生上の問題からか、菓子、パン、生鮮食品等我が国では、包装されていない食品

はないといっても過言ではない。これらの食品はまさにその包装のために、再資源化を困難にしている。これまでの技術開発において、この種の包装除去を目的とする技術開発は皆無に等しい。いずれにしても資源価値を持つ食品廃物がこのような技術要因やコスト要因などのために、有効に活用されないという社会的不効用だけでなく、CO₂排出など環境問題の原因の一端になっていることから、それを改善することが極めて重要な今日的課題であることを再度強調しておきたい。

3. 有機系循環システムとその課題

3.1. 食品廃棄物を軸とした有機性物質循環システム

本研究では、食品製造業単独での再資源化を目的としているのではなく、これに畜産業・農業・林業といった一次産業系産業を加えた産業リンクを基本とした新たな循環システムを提案する(図1)。これは、食品製造業・流通系から発生する食品副産物を畜産業の飼料とし、畜産業からの家畜糞尿及び流通・消費(家庭)系からの厨芥類を農業への基幹的生産資材である堆肥にし、農業からの生産物を食品製造業の原料、あるいは店舗を通じて一般家庭へ還元する。循環の潤滑油的存在となる林業の役割は、おがくず、チップ、間伐材を畜産業への敷き量として利用する。このシステムにより、一次産業系および食品製造業に起因する環境問題の解決、生存基盤である食料、飼料供給の安定化を図るものである。

我が国でも過去、食品廃物は都市を囲むように畜産農家が展開していたことから、「食品製造業者から出る産業廃棄物や残飯は収集業者により回収され、畜産業者が飼料として活用し、乳・肉などの生産物を都市に返し、家畜糞尿は堆肥化して農地に還元し、農作物は都市で消費される」という循環が形成されていた。しかし、高度成長期における物質・人・情報等の都市への集中、土地価格の急騰、円高による輸入飼料の増加等により、化石資源を動力源とした一過性社会システムが形成され、循環システムの鎖が断たれた。

本研究で提案する循環システムは単なる過去への回帰ではない。現在の社会情勢は、過去循環が成立していた頃とは全く条件が違い、量・質的にも空間的にもその規模の次元が異なっている。このような現状を踏まえ、循環形成の課題について次節で検討する。

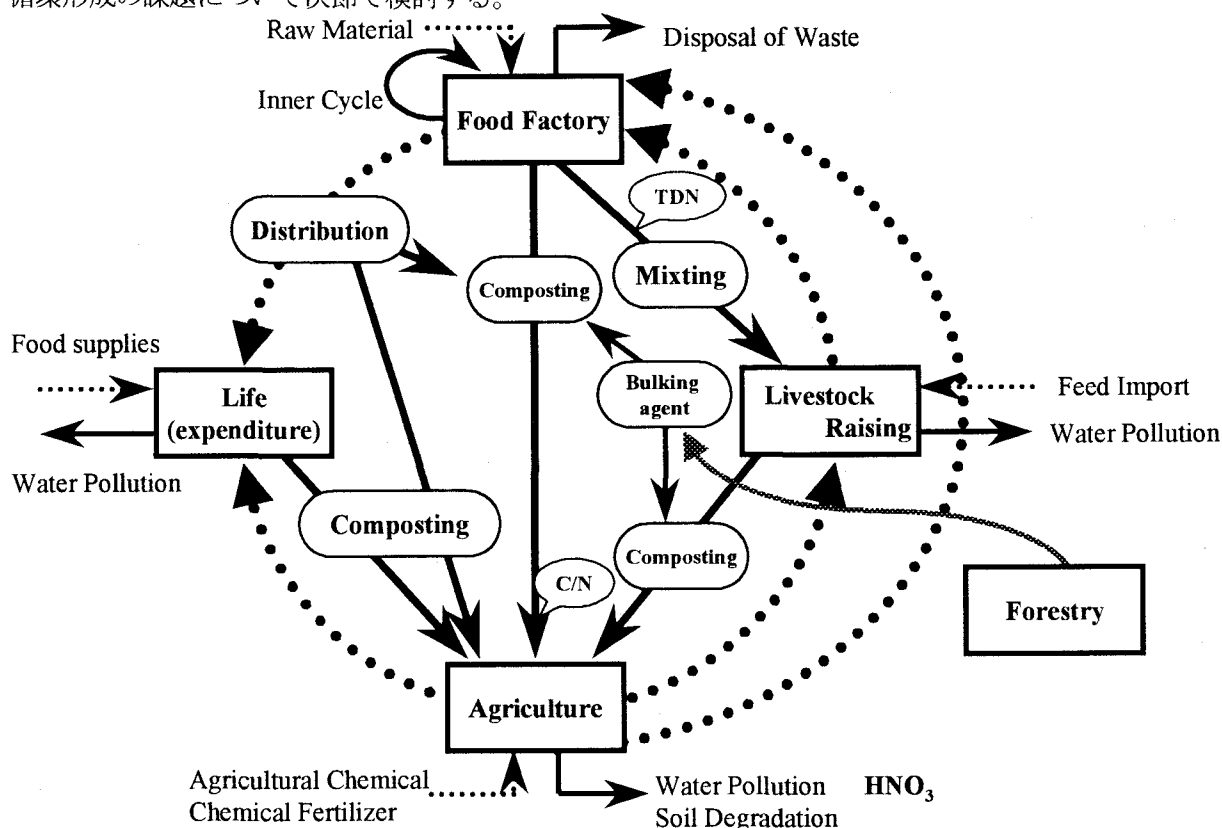


図 1. 有機物循環システム

3.2. 循環形成の課題と対策

循環形成の主要な課題と対策について検討する。まず、産業間における問題点として、

(1)食品製造業と畜産業の規模格差

(2)都市と農村の空間的配置

(3)食品製造業の廃棄コストと畜産業の輸入飼料価格のバランス

が挙げられる。(1)の規模格差の問題であるが、現状の食品製造業から発生する副産物・廃棄物のロットが非常に大きく、これを飼料として引き受けることができる畜産家は都市近郊では皆無に等しい。さらに、畜産業の後継者不足から先行き不安な供給先を確保するよりも廃棄処分あるいはエネルギー回収などへ移行するのはやむを得ない。しかし、ビール粕のように食品製造業側が脱水・乾燥処理を行い、分割して販売すれば、前述のとおり 90%以上の再資源化が可能となることは実証されている。(2)は一過性システムが定着するまで、都市と農村は比較的密接な位置関係にあった。しかし、高度成長期における土地の高騰、輸入食料との競争、地域住民の苦情（悪臭）などが原因で畜産業が遠隔地に移動し、大規模経営を行わざるを得ない状況となり、これに伴って一定地域内の畜産業と農業のバランスが連動して崩壊することになった。循環システムは物質が産業間を移動することを基本とすることから、適正な規模に産業が配置される必要がある。現在の肥大化した都市と過疎化する農村の一体化について検討する必要があるだろう。(3)は食品製造業で発生する副産物・廃棄物を飼料化するコストと焼却・廃棄するコストの比では、後者が決定的に安価であり、主たる原因は行政の安価な回収事業が挙げられる。循環型へ移行するには、温暖化や最終処分場問題などの環境問題に誘発され、処理コストが上昇するあるいは不法な処理業者へに多額の罰金を科すなどの法整備が結果としてもっとも効果的にコストに反映されるであろう。一方、畜産業においては現状の輸入飼料は副産物利用よりも低価格で栄養価を安定させやすいため、輸入飼料の価格高騰がない限り、副産物利用へのシフトは考えられない。しかし、世界的な食糧危機が危惧される今日の情勢で焼却・廃棄処理を主体とする食品製造業及び穀物飼料依存型の畜産業は、短期的経済コスト、生産効率を重視するあまり安定性・持続性に欠ける生産体系となっている。ただし、これにも食糧安保等からみた公的な介入が必要であろう。

各産業内における課題としては、

食品製造業の課題

- ・副産物、廃棄物の飼料化手法
- ・不安定な副産物発生量

畜産業の課題

- ・残渣供給の不安定性に伴う栄養価変動
- ・輸入飼料に対応した既存設備
- ・糞尿量の増加
- ・家畜適性

農業の課題

- ・堆肥化・施用技術の確立
- ・堆肥施用効果の解明
- ・堆肥品質の安定性
- ・需要と季節性

等がある。

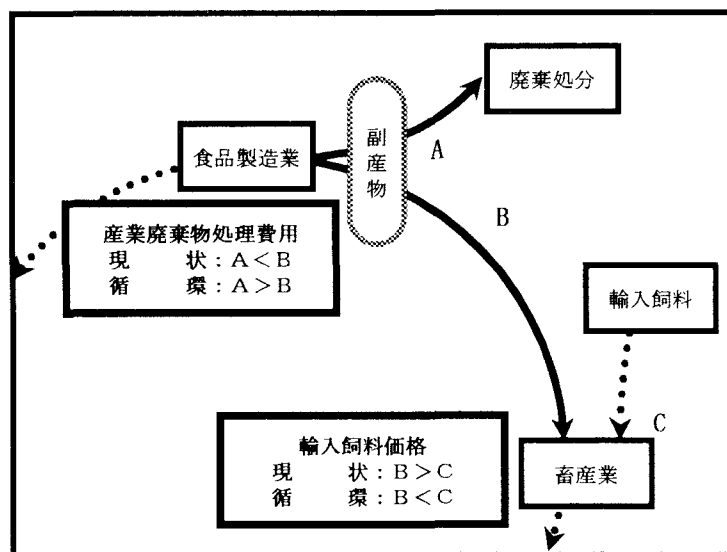


図2 食品製造業と畜産業間の経済的要因

4. 循環形成における経済的要因の分析

前節で示した食品製造業の廃棄コストと畜産業の輸入飼料価格のバランスについて、為替レートとシカゴ穀物（トウモロコシ）相場変動の2変数（表2）を用いて循環形成への経済的要因を分析する（図2）。まず、

対象とする副産物として、おから、醤油粕、パン（包装材を含）を取り上げる。食品製造業側は、産業廃棄物処理コストと飼料化に関する総コストを比較して、低価格な処理を選択すると仮定する。畜産業側では、輸入飼料価格から副産物飼料の飼料価格を設定する。輸入飼料価格、副産物の飼料化総コストは以下の式によって算出する。

輸入飼料価格

$$= \{ (\text{穀物相場}) + (\text{フレート}) \} * (\text{変換係数 } C_1) * (\text{為替レート}) * (\text{変換係数 } C_2) + \text{諸経費}$$

食品製造業側における飼料利用への総コスト

$$= (\text{飼料化コスト}) + (\text{輸送コスト}) - (\text{畜産業への飼料販売利益})$$
$$= (\text{飼料化コスト}) + (\text{輸送コスト}) - (\text{輸入飼料価格} * \text{変換係数 } C_3)$$

変換係数 C1; ブッシュェル/トン変換係数

変換係数 C2; 関税、保険に関する係数

変換係数 C3; トロロン価格に対する副産物飼料価値

産業廃棄物処理コストを前提条件とし、為替レート及び穀物相場価格を所与することにより、昭和 52 年から平成 8 年までの期間をシミュレーションした結果を表 3 に示す。為替レート及び穀物相場変動の動きとシミュレーション結果を比較すると、結果では、循環が切断されているのが、昭和 60 年前後であるが、この時為替レート、穀物相場ともに急落している。また、平成 8 年には循環が機能している結果がシミュレーションで示されているが、この時には穀物相場が急騰している。これらを裏付けるために、以前から副産物利用を行っている農事組合法人へのヒアリング調査を行った結果、昭和 60 年前後から製造業の副産物供給が減少し、穀物相場が急騰した平成 8 年には、製造業から副産物の引き取り依頼が急増していたことが分かり、両産業においてこの 2 変数が大きな影響要因であることが立証できた。

5. 循環の最適規模

これまで循環システムの構造、循環形成のための課題・対策を整理し、経済的要因について分析してきたが、ここでは循環システムが機能するための最適な規模について考える。循環システムは、その言葉が示すとおり、物質が各産業間を移動するわけであり、関連するすべてのセクターが連携をとらないと成立しない

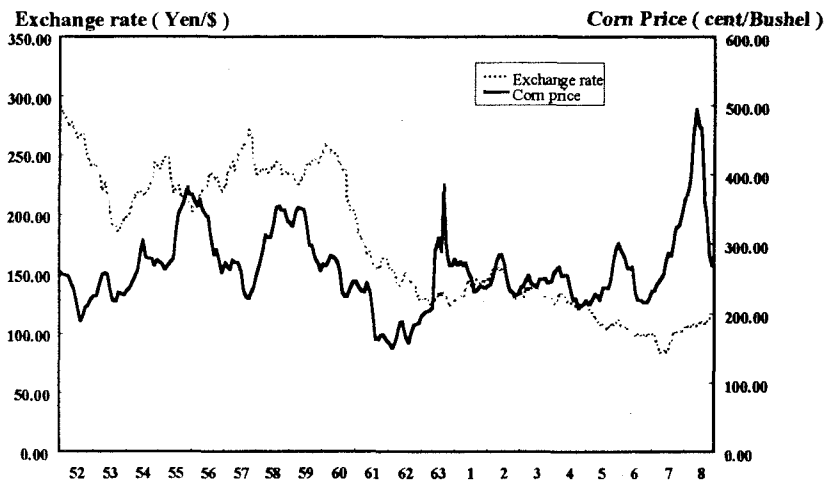


表 2. シカゴ穀物相場と為替レートの変動

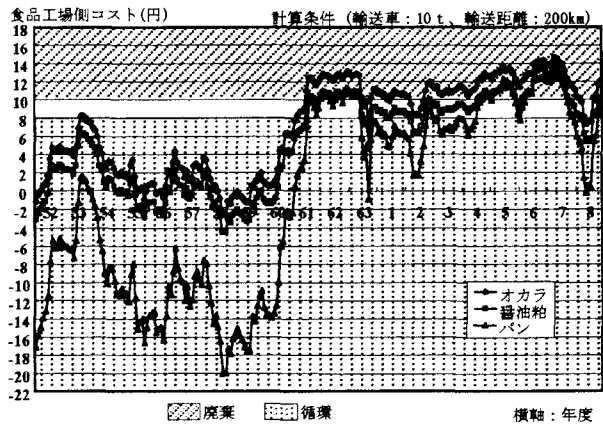


表 3. シミュレーション結果

ことは明白であり、この点が一過型システムとのもっとも大きな相違点である。つまり、あまり大規模な地域スケールでは、環境負荷が増大したり、資源の多消費を促すことになり兼ねない。ここでは、食品関係の有機系物質の需給関係のみを考慮し、人口が20,000人の自立自給系の閉鎖地域を仮定し、この規模で循環システムが機能するための規模ユニットを検討する。まず、供給側から必要な家畜頭数、産業規模、農業面積を算定する。次に副産物（おから、醤油粕）を地域内で滞留することなく、完全再利用するために必要な家畜（肉牛で代用）頭数、産業規模、農地面積を算定する（表4）。この数値は、20,000人地域で循環システムを機能させるための最低限のユニットになる。しかし、これが循環システムを導入した地域の最適規模というわけではない。今後は環境負荷面からの評価を含め、循環システムが最適な人口、産業規模ユニット算出が課題となる。

供給			
肉牛	380頭	農地（米）	281.36ha
乳牛	196頭	農地（小麦）	171.08ha
豚	4,694頭	農地（野菜）	400.04ha
肉鶏	106,993羽	農地（果樹）	17.12ha
採卵鶏	17,734羽	牧草地	1.78ha
畜産面積	25.59ha	農地面積	871.38ha

需要	
畜産業（肉牛）	28頭
畜産面積	0.024ha
牧草地	0.0025ha
農地面積	4ha

表 4. 地域規模の試算

6. さいごに

人類がこれまで築いてきた経済と環境は基本的に対立関係にあり、両者が対立した場合、ほとんどが長期的な生態系の持続可能性よりも短期的な経済利益を優先し、次世代へツケを後送りする。現状の社会システムにおいては、企業の独立性が強調され、自身の内部発生負荷にしか、注意が向かない。そのため、社会全体における循環システムの形成が極めて困難になり、結局は社会全体として大きなマイナスを蒙っている。化石資源の枯渇と地球環境変動が危惧される今後に備え、我々は循環型システムを形成し、安定的に持続するためには新たなエコ技術に依拠しなければならないと考えやすいが、それ以上に自然エネルギーと再生可能資源に立脚した自立的な社会構造を築き、新たな価値判断によって、社会全体が大きく変革しなければならない。

参考文献

内藤正明(1992) エコトピア、日刊工業新聞社
 内藤正明・森川徹夫・清水浩(1994) 環境調和型技術、エッソ石油株式会社
 厚生省生活衛生局水道環境部環境整備課監修(1994) 日本の廃棄物、(社)全国都市清掃会議
 フリッツォフ・カプラ、グンダー・パウリ編、赤池学訳(1996) ゼロエミッション、ダイヤモンド社
 有機質資源化推進会議編、有機廃棄物資源化大辞典(1997) (社)農山漁村文化協会

データ出典

農林水産省編(1997) 食糧自給表
 築城幹典・原田靖生(1997) 家畜の排泄物量推定プログラム、システム農学、13(1) pp17-23
 小川吉雄(1995) 畑地における持続的システム -畑地における窒素循環と施肥管理-、システム農学、11(1) pp49-59
 中央畜産会(1995) 日本標準飼料成分表
 農林水産省流通飼料課監修、各年度版、飼料便覧