

# 道内リン循環利用に向けた地域需要供給の実態解明

## Field based study on supply and demand balance of phosphorus for its circulation and utilization in Hokkaido

長谷川 祥樹<sup>1)</sup>、牛島 健<sup>2)</sup>、岡村 篤<sup>3)</sup>  
Yoshiki Hasegawa<sup>1)</sup>, Ken Ushijima<sup>2)</sup>, Atsushi Okamura<sup>3)</sup>

地方独立行政法人北海道立総合研究機構  
建築研究本部  
北方建築総合研究所

Northern Regional Building Research Institute

Building Research Department

Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization

---

<sup>1)</sup> 北方建築総合研究所地域研究部地域システムグループ研究主任 <sup>2)</sup> 同主査 <sup>3)</sup> 同研究職員

<sup>1)</sup> Researcher of Regional System Group <sup>2)</sup> Chief of Regional System Group <sup>3)</sup> Researcher of Regional System Group, Northern Regional Building Research Institute (all above)

## 目 次

1. はじめに	
(1) 研究の背景と目的 .....	1
(2) 研究項目 .....	1
2. モデル地域内外におけるリン需要／供給の把握	
(1) モデル地域の選定 .....	1
(2) 現状把握 .....	1
(3) リンの需要／供給バランスの分析 .....	2
3. リンの循環利用におけるボトルネックの解明	
(1) 需給アンバランス解消の諸条件の解析 .....	3
(2) 循環利用に必要なコストの評価 .....	4
4. リンの循環利用による間接的な費用削減効果の評価	
(1) 畜産農家（供給）側の視点による評価 .....	8
(2) 畑作農家（需要）側の視点による評価 .....	8
5. まとめ .....	9

## 1. はじめに

### (1) 研究の背景と目的

三大肥料成分の一つであるリンは、食糧生産に欠かすことができない物質であり、リン（リン酸）を肥効成分とする肥料が従来から大量に生産・消費されている<sup>1)</sup>。リン肥料の原料であるリン鉱石は枯渇性の資源であり、我が国は全量を輸入に頼っている<sup>2)</sup>。そのため、廃棄物からのリン回収技術、各種産業のリンのマテリアルフローについて、多くの研究<sup>3)</sup>がなされているが、現実にはリンの再利用は進んでいない。

リンの潜在的な需要と供給の間には、空間的、時間的、質的（リンの形態や混合物等）なミスマッチングが存在すると考えられ、これらが再利用を進める上でのボトルネックになっていると想定される。

本研究では、北海道におけるリンの循環利用におけるボトルネック、費用削減効果を明らかにし、今後の取り組み方針（リンの質変換技術や、輸送のしくみ、価値連鎖など）を示すことを目的とする。

### (2) 研究項目

研究項目は以下の1)、2)、3)である。

#### 1) モデル地域内外におけるリン需要／供給の把握

いくつかの代表的なモデル地域を選定し、畜産農家、畑作農家を始めとする農業関係者に聞き取り調査を行い、リンを含む家畜排せつ物の発生・堆肥化過程における状態の変遷や施肥等による利用の実態を把握する。また、統計資料を用いてモデル地域におけるリンの需要供給のバランスを分析する。

#### 2) リンの循環利用におけるボトルネックの解明

輸送によって需要/供給の空間的偏在を解消するための諸条件を解析し、リンを循環利用するために必要となるコストを評価する。

#### 3) リンの循環利用による間接的な費用削減効果の評価

リン含有資材の価値（堆肥価格、肥料成分としての機能など）およびそれがもたらす効果（化学肥料の削減など）を畜産農家側・畑作農家側それぞれの視点から評価する。

### [参考文献]

- 1) 露巻峰夫, 吉田綾子, 星山英一: リン資源循環を実現するシステム構築のための基礎的条件に関する検討, 環境システム研究論文集, Vol. 36, pp. 217-225 (2007)
- 2) 農林水産省: 肥料原料の安定確保に関する論点整理, 2010
- 3) 例えば, 松八重ら: 廃棄物からの人工リン資源回収技術, 社会

## 2. モデル地域内外におけるリン需要／供給の把握

### (1) モデル地域の設定

リンのフローが大きいと考えられる畜産系（家畜ふん尿としての放出）と畑作系（肥料成分としての施用）での循環利用を検討するにあたり、畜産系と畑作系の距離に着目した。畜産地帯と畑作地帯が明確に分かれており、長距離の輸送が必要な地域（X町（畜産）・Y町（畑作））を「長距離輸送モデル」とし、地域内に畜産系と畑作系が混在し、比較的短距離で輸送が可能な地域（Z町）を「地域内輸送モデル」として設定した。

X町が位置する道東（酪農）地域は、気候が冷涼で、泥炭地などの特殊土壌が多いため牧草地が中心で、これを活かした大規模な酪農経営が行われている<sup>1)</sup>。Y町が位置する道東（畑作）地域は、大規模な畑作経営により麦類、豆類、てんさい、ばれいしょ、たまねぎなどの生産が行われている<sup>1)</sup>。Z町は道東（畑作）地域に位置し、畑作のみならず中・大規模な酪農経営が展開されている。

### (2) 現状把握

営農現場における家畜ふん尿の取り扱いの実態を把握するためZ町において、行政・農協・畜産農家・畑作農家等への聞き取り調査を実施した。

調査の結果、Z町において家畜ふん尿の散布は、投棄的な意味合いが強く、多くのケースで未熟状態のまま発生個所近傍の牧草地や飼料作物畑に散布されていることを確認した。その主な原因として、畜産農家の経営規模拡大に伴いふん尿処理量が増加し、従来の堆肥舎では処理に必要な面積が確保できないこと、堆肥化等にかかる労力が確保できないことなどが挙げられる。Z町の平成28年度家畜排せつ物利用促進計画によると、家畜排せつ物の約86%が畜産農家の経営内利用で処理されており、畑作農家や肥料製造業など畜産農家の経営外での利用は約14%に留まっていた（湿潤重量ベース）。

一方、畑作農家の中には、積極的に堆肥を利用する農家がいるものの、品質への不安、運搬・散布の手間、入手の不安定さ等の理由で利用を敬遠する農家も多く、堆肥を施用する農地は限定的であった。ここで、畑作農家の経営耕地（牧草地・飼料作物以外の農地）について、全面積のうち何割に堆肥を施用するかを表す指標を畑作利用率とし、現状の畑作利用率を推計した結果を表2-1に示す。Z町の平成

28年度家畜排せつ物利用促進計画に記載されている「家畜ふん尿の経営外での利用量」のうち、肥料製造業者および地域外耕種農家での利用分を除いた量を畑作農家における家畜ふん尿の利用量とし、その値に堆肥化による重量の減少率<sup>2)</sup>を乗ずることで堆肥相当量に換算する。堆肥換算量を北海道施肥ガイドに記載されている普通作物畑における標準的な堆肥施用量<sup>3)</sup>で除すことによって得られる堆肥施用面積と、Z町の普通作物の総作付面積の関係から畑作利用率は約40%と推計された。

表 2-1 Z町における畑作利用率の推計

項目	推計値等	備考
①畑作農家における家畜ふん尿の利用量	t 37,567	Z町の家畜排せつ物利用促進計画
②堆肥化による重量の減少率	- 0.57	乳用牛の推計値 <sup>2)</sup>
③堆肥換算量	t 21,413	①*②
④標準堆肥施用量	t/10a 3	普通作物畑の基準 <sup>3)</sup>
⑤堆肥施肥面積	ha 713.7	③/(④*10)
⑥普通作物の総作付面積	ha 1,779.5	Z町提供資料より
⑦畑作利用率	- 40.1%	⑤/⑥

### (3) リンの需要/供給バランスの分析

#### 1) 分析方法

表 2-2 に家畜ふん尿に含まれるリンの発生量を求めるための基礎データを示す。発生量は、発生原単位と家畜飼養頭数から求めた。発生原単位は、家畜の飼養形態や家畜年齢などによって大きく変動するため、いくつかの数字が提案されている。本研究では中央農業総合研究センターがまとめた畜種毎の平均値<sup>4)</sup>を用いた。家畜飼養頭数は農林業センサスの農業集落単位の集計値<sup>5)</sup>を用いて、農業集落ごとにリンの発生量を推計し、これを当該集落におけるリン供給量とした。なお、本研究では、モデル地域において集計値が存在した乳用牛と肉用牛のみを対象とした。

表 2-3 および表 2-4 に家畜ふん尿を堆肥化して利用する際のリン需要量を求めるための基礎データを示す。北海道施肥ガイドにおける作物種毎の堆肥施用上限量および同ガイドに記載されているリンの肥料換算係数等<sup>3)</sup>を参考に、標準的な堆肥施用による

単位面積当たりのリン投入上限量を求め、作物種ごとのリン需要量とした。それらの値に農業集落ごとの作物種毎の作付面積<sup>5)</sup>を乗じて当該集落におけるリン需要量とした。なお、前項で記述したとおりすべての畑作農家が堆肥を利用することは想定できないため、畑作農家の経営耕地（牧草地・飼料作物以外の農地）については、畑作利用率として一律40%を乗ずることで需要量を算出した。需要/供給バランスは農業集落単位で分析し、集落内のすべての供給と需要が各集落の地理的な重心に集中していることとした。

表 2-2 発生原単位<sup>4)</sup> 単位:g/day/head

畜種	N	P	K
乳用牛	227.9	32.5	135.8
肉用牛	116.7	13.8	55

表 2-3 堆肥の肥料成分含有量と肥料換算係数<sup>3)</sup>

項目	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
成分含有量	kg/t 5	5	4
肥料換算係数	- 0.2	0.6	1
有効成分量	kg/t 1	3	4

表 2-4 堆肥施肥上限量<sup>3)</sup>と成分需要量

作物種	堆肥施肥		成分需要量	
	上限量	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	t/10a	kg/10a	kg/10a	kg/10a
牧草	4	4	4	12
飼料畑	3	3	9	12
水稲	1	1	3	4
普通作物	3	3	9	12
果樹	3	3	9	12

※牧草の有効成分量(kg/t)は、N:1, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:1, K<sub>2</sub>O:3<sup>3)</sup>を使用

#### 2) 分析結果と考察

図 2-2 にモデル地域における農業集落単位の需要/供給バランスの分析結果を示す。需要/供給バランスは集落毎に供給量から需要量を差し引くことで求めており、当該集落における収支が正の値の場合は供給超過を、負の値の場合は供給不足（需要超過）を表している。長距離輸送モデルにおいては、供給側の X 町において供給超過集落が多数見られ、供給超過量の合計値を示す余剰量は 62.8tP/年であった。一方、地域内輸送モデルにおいては、Z 町全体の余剰量は 49.8tP/年であった。

ここで、前項の聞き取り調査結果等をもとに、畜産農家の経営耕地が畜産農家近傍すなわち同一集落内に存在しているとすると、現状では集落外への持ち出しはほとんどないといえる。また、今回のモデル地域において、同一集落内に大規模な畜産経営と畑作経営が同居しているケースがほとんどみられなかったことを考慮すると、リンの需給バランスをとって余剰を解消するためには、集落外への輸送が不可欠であると言える。

<https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/narc/2001/narc01-49.html>

5) 農林水産省：2015年農林業センサス(2015)

### 3. リンの循環利用におけるボトルネックの解明

#### (1) 需給アンバランス解消の諸条件の解析

##### 1) 解析方法

輸送によって需要/供給の空間的偏在を解消するために、供給超過集落から供給不足(需要超過)集落への輸送問題として解析を行った。解析は、柚山らの提唱したリソースマイル<sup>1)</sup>の考えに基づき、輸送費用を最小化するために輸送距離と輸送量の積の最小化を目的とする線形計画法にて行った。以下に計算の概略を示す。

$$\begin{aligned} \text{最小化} \quad & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} k_{ij} x_{ij} & (3-1) \\ \text{条件} \quad & \sum_{j \in J} x_{ij} \leq a_i, \quad i \in I \\ & \sum_{i \in I} x_{ij} = b_j, \quad j \in J \\ & 0 \leq x_{ij} \leq u_{ij}, \quad i \in I, j \in J \end{aligned}$$

$x_{ij}$  : 供給地  $i$  から需要地  $j$  への輸送量

$k_{ij}$  :  $i$  から  $j$  への輸送距離

$a_i$  : 供給地  $i$  の供給量

$b_j$  : 需要地  $j$  の需要量

$u_{ij}$  :  $i$  から  $j$  への輸送量上限

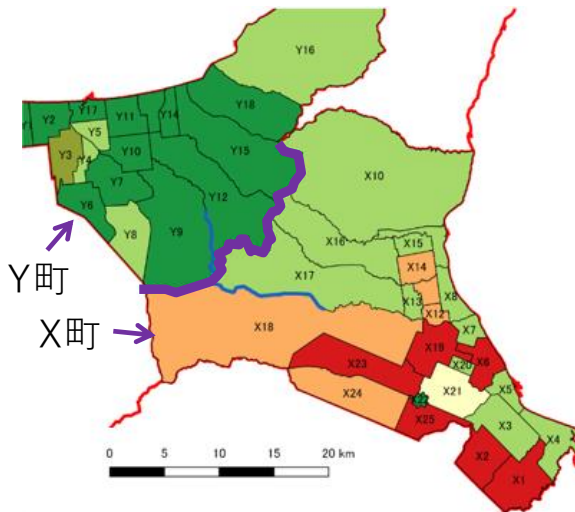
※ツール：Excel ソルバー

※解法：シンプレックス法

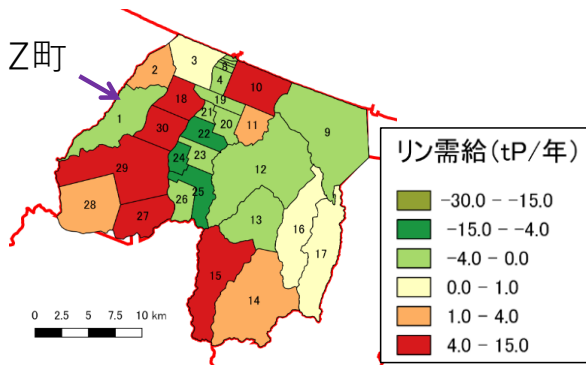
解析条件として最大輸送距離と畑作利用率を可変とした。すなわち輸送可能な集落の組み合わせと輸送先の集落における需要量を変化させることで各条件において供給量から輸送可能量を差し引いた余剰量を求めた。余剰量が0以下になる条件のうち、加重平均距離が短い条件を余剰解消条件とし、加重平均距離が同等の場合は、最大輸送距離が短く畑作利用率が低い条件を採用した。加重平均距離は輸送距離と輸送量の積の総和を総輸送量で除することにより求めた。集落間の輸送距離は基本的に集落重心間の距離の1.5倍とし、長距離輸送モデルにおいて輸送経路が限定される峠道に該当する部分についてのみ実距離で置き換えて計算した。

##### 2) 解析結果と考察

解析結果を図3-1に示す。長距離輸送モデルでは、最大輸送距離を60kmに延伸することで、現状



(a) 長距離輸送モデル



(b) 地域内輸送モデル

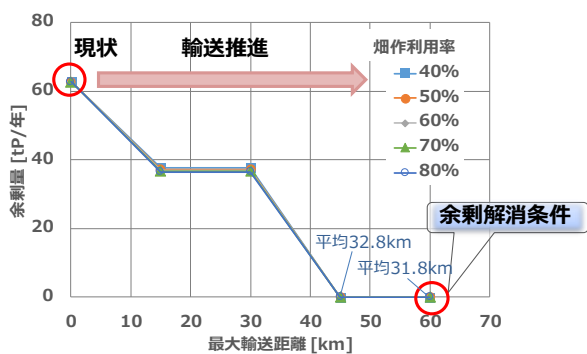
図2-2 リン需給バランスの分析結果

#### [参考文献]

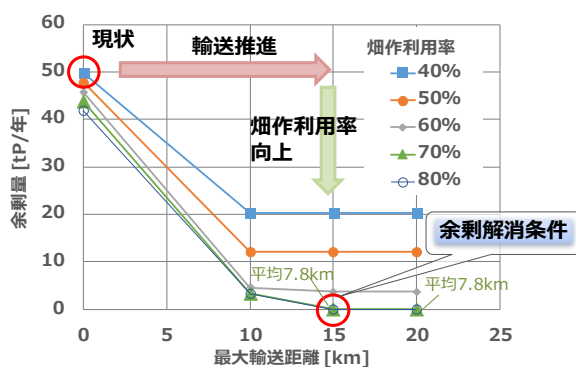
- 1) 農林水産省北海道農政事務所：センサスからみた北海道農業(2017), 北海道農政事務所 HP, [https://www.maff.go.jp/hokkaido/toukei/kikaku/gurafu\\_gaiyou/tokutyou/tokutyou.html](https://www.maff.go.jp/hokkaido/toukei/kikaku/gurafu_gaiyou/tokutyou/tokutyou.html)
- 2) 望月康平：家畜排せつ物法施行前後における堆肥流通の変化, システム農学, Vol.25(1), pp55-62, 2009
- 3) 北海道農政部：北海道施肥ガイド2015, 2015
- 4) 中央農業総合研究センター：家畜排泄カリウムの原単位試算と活用例(2001), 農研機構 HP

の畑作利用率のままでも余剰が解消する結果となった。一方、地域内輸送モデルでは、最大輸送距離を15kmに延伸し、かつ畑作利用率を70%に向上することで余剰が解消する結果となった。すなわち、今回パラメータとした最大輸送距離と畑作利用率は、単純なトレードオフの関係ではないことを意味している。

いずれのモデルにおいても、輸送距離の延伸は必要と考えられたが、長距離輸送モデルでは、現地調査において言及されていた輸送距離である20km程度を大幅に上回る輸送が必要であり、大幅な輸送コスト削減もしくは別の処理方法の検討が必要と思われる。一方、地域内輸送モデルでは、輸送距離の延伸と、畑作利用率の向上による両側面の対策が必要であるものの、現地調査で確認された内容と照らし合わせたとき、対策に必要とされる変化は比較的现实味のある範囲であることから、次項以降では地域内輸送モデルを対象として詳細な検討を行った。



(a) 長距離輸送モデル



(b) 地域内輸送モデル

図 3-1 リンの余剰解消条件の解析結果

## (2) 循環利用に必要なコストの評価

### 1) 評価概要

畑作農家での利用拡大を促すためには、堆肥化によって、畑作農家が望む品質の堆肥を供給する必要がある。前述したように畜産農家では堆肥化にかけ

るスペースと労力が不足しているため、共同利用の堆肥化施設を新たに建設することにより余剰分の家畜ふん尿を堆肥化することを想定する。堆肥化施設の設置箇所や堆肥の生産能力を変化させ、施設建設費と輸送費への影響を評価した。

### 2) 堆肥化施設の設置箇所の設定

堆肥化施設の設置箇所について、図 3-2 に示す 3 通りのパターンを設定する。まず、地域全体で家畜排せつ物を輸送し拠点施設で集約処理をする「拠点集中型」を設定する。次に地域を 3 つのエリアに分けてエリア毎に一つの拠点施設で処理をする「拠点分散型」を、最後に供給側の各集落に一つ施設を建設し、集落毎に処理を行う「集落個別型」を設定する。一般的に施設規模が大きくなるほど、規模の効果によって単位生産能力あたりの建設費は低くなるため、対象地域内の総建設費は安価な順に「拠点集中型」、「拠点分散型」、「集落個別型」となると想定できる。一方、堆肥化施設の数が多くなるほど、供給点から需要点までの総輸送距離が短くなることから、輸送費は安価な順に「集落個別型」、「拠点分散型」、「拠点集中型」となると想定できる。すなわちこの 3 つのパターンにおいて施設建設費と輸送費はトレードオフの関係となる。

### 3) 堆肥生産能力の設定

単位面積当たりの堆肥生産能力は、堆肥の貯留期間（発酵期間）によって変動するため、堆肥の貯留期間に応じて次の 3 通りの条件を設定した。まず生産効率を重視し短期間の貯留で堆肥の回転率を上げる「短期貯留」条件を設定した。次に品質を重視し貯留期間を長くして堆肥の完熟化を図る「中期貯留」、「長期貯留」条件を設定した。貯留日数は、堆肥の堆積期間が半年と 1 年で事例が多い<sup>2)</sup>ことから、「中期貯留」を 180 日、「長期貯留」を 360 日に設定した。敷料が混合した乳牛ふんの堆肥化には少なくとも 3 か月必要<sup>3)</sup>なことから、「短期貯留」は 90 日とした。

一般的に貯留期間が短いほど単位量の堆肥を生産するのに必要な面積が小さくてすむため、単位生産能力当たりの建設費は安価になる。一方で、貯留期間が長くなるにつれて堆肥が完熟化し、水分量などの低下により減量化が進むため、輸送費は安価になる。つまりここでも施設建設費と輸送費のトレードオフの関係を保つこととなる。

#### 4) 堆肥生産能力の入力データ

堆肥化の処理方式として大きく分けて堆積型と攪拌型があり、本研究では屋根掛け構造物と隔壁の他に追加の設備を必要せず、維持管理費を抑制することが可能<sup>4)</sup>な堆積型を前提に施設建設費を算出した。前述した通り、堆肥の貯留期間によって単位面積当たりの堆肥生産能力が変動するため、貯留期間に応じて堆肥生産能力を設定した。

堆肥生産能力の入力データを表3-1、表3-2に示す。堆肥化施設での処理による家畜ふん尿の性状の変遷について、堆肥化施設設計マニュアル<sup>3)</sup>を基にして計算を行った。原料としてふん尿分離後の乳用牛のふんを、敷料として麦稈を想定した条件とし、原料と敷料の重量と水分率は文献値<sup>3), 5), 6)</sup>を参考に設定した。原料と敷料の混合物の乾物分解率を1日あたり0.25%とすると、貯留日数経過後における原料・敷料それぞれの乾物分解量を求めることができる。それらの乾物分解量から乾物分解発熱量の総量を求め、その発熱がすべて水分蒸発に使われる仮定で水分蒸発量を求めた。以上によって求められた

乾物と水分の減少量を用いて堆肥化前後での減量化率（生産した堆肥の重量／原料と敷料の重量の和）を求めた。減量化率は短期貯留条件で0.75、中期および長期貯留条件で0.55となった。中期貯留条件と長期貯留条件で減量化率に差がないのは、乾物の分解が40%で飽和すること<sup>7)</sup>を条件としているためである。なお堆肥の減量化は水分と易分解性有機物の減少によるものであり、リンの正味含有量は変化しない<sup>6)</sup>ものとした。すなわち、減量化率によって単位堆肥重量あたりのリン含有率が増加するため、減量化が進むほどリンの輸送効率が良くなることを意味している。

堆肥化過程における平均重量を堆肥化前後の水分率から想定される平均容積重で除して貯留日数を乗ずることで1頭あたりに対する必要容量を求めた。必要容量を貯留期間によって可変にした平均堆積高さで除して得られる1頭あたりに対する施設面積と1頭あたりから生産される堆肥重量との関係から単位面積あたりの堆肥生産能力が求められた。

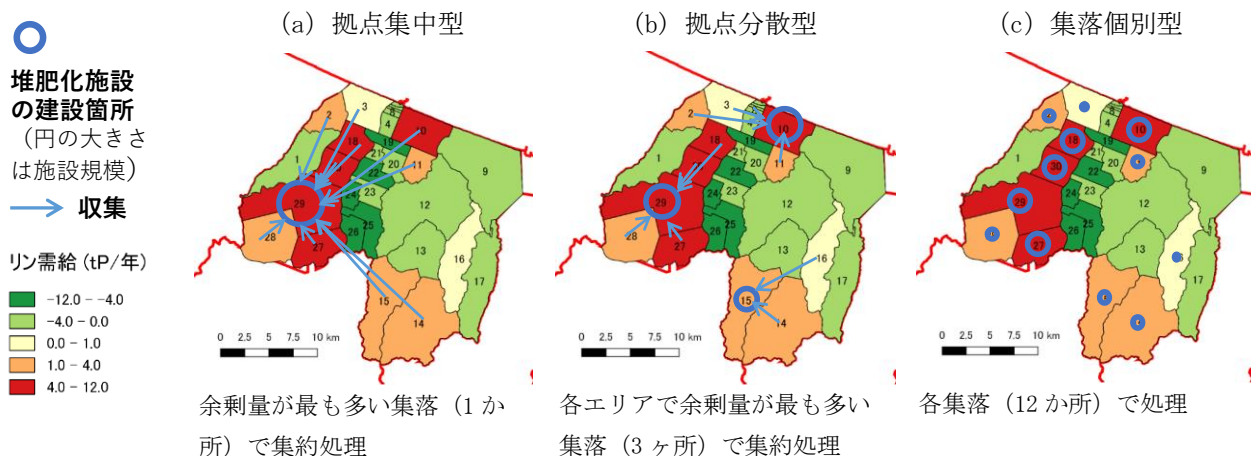


図3-2 堆肥化施設の設置箇所の設定

表3-1 堆肥化の共通条件

項目	設定値	文献
原料重量	kg/day/head 45.5	5)
原料水分率	% 85	6)
敷料重量	kg/day/head 3.8	6)
敷料水分率	% 10	3)
乾物分解率	%/day 0.25	3)
乾物分解発熱量(原料)	kcal/kg 4,500	3)
乾物分解発熱量(敷料)	kcal/kg 3,000	3)
水分蒸発発熱量	kcal/kg 900	3)

表3-2 貯留期間毎の単位面積当たり堆肥生産能力

項目	貯留条件	貯留条件		
		短期	中期	長期
貯留日数	day	90	180	360
乾物分解率	%	22.5	40 <sup>7)</sup>	40 <sup>7)</sup>
減量化率	-	0.75	0.55	0.55
平均容積重 <sup>3)</sup>	kg/ m <sup>3</sup>	840	835	835
必要容量	m <sup>3</sup> /head	4.61	8.22	16.45
平均堆積高さ	m	1.5	2.0	2.5
施設面積	m <sup>2</sup> /head	4.00	5.35	8.55
単位面積あたり堆肥生産能力	t/year/m <sup>2</sup>	3.36	1.84	1.15

### 5) 施設建設費の入力データ

堆肥化施設の建設費は、堆肥舎等建築コストガイドライン<sup>8)</sup>の堆肥舎の項目を参考にして、基準床面積 500 m<sup>2</sup>における単位面積あたりの建設費 36 千円/m<sup>2</sup>を基準として算出した。規模の効果として伊藤・中田<sup>9)</sup>の方法を参考に、堆肥生産量に対して建設費が 0.7 乗で増加する関数を設定した。前項で設定した単位面積あたりの堆肥生産能力および単位面積当たりの建設費から図 3-3 に示すとおり貯留条件ごとに単位生産能力あたり建設費の関数が設定された。

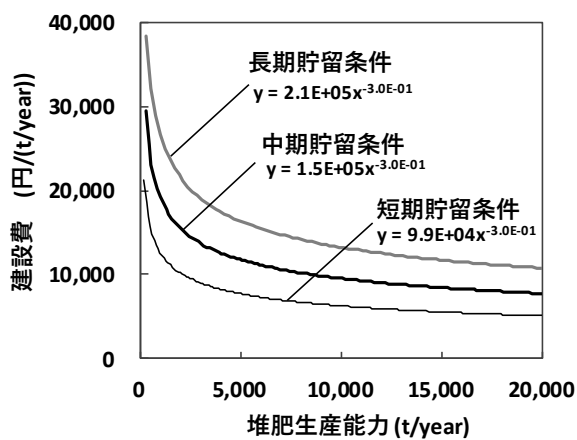


図 3-3 堆肥生産能力あたり建設費の関数

### 6) 輸送費の入力データ

輸送費は、Z 町で家畜排せつ物の運送委託を受けている業者および各畜産農家との連絡調整を行っている農協直轄コントラクターへの聞き取り調査に基づき設定した。Z 町での堆肥運搬の基本作業形態は、3 人一組となり堆肥積み込み用のホイールローダ 1 台と運送用トラック 2 台で実施されていた。堆肥舎から運搬先の圃場までの距離によって決まる 1 日あたりの概ねの運搬回数および積み込み・積み下ろし作業時間などから設定した輸送条件を表 3-4 に示す。これらの輸送条件を基にしてトラックの走行時間の合計と積み込み・積み下ろし時間の合計を代表的な距離について見積もり、両者の合計が 1 日あたりの実作業時間に近づくように輸送回数を調整した。輸送距離に応じた 1 日あたり輸送回数の関係から回帰式を求め、次の通り関数を設定した。

$$N = -9.1 \ln(L) + 33 \quad (3-2)$$

N : 輸送回数 (回/日)

L : 輸送距離 (片道) (km)

式 3-2 によれば、輸送距離が 2km のとき輸送回数は 1 日 27 回、4km のとき 20 回、15km のとき 8.5 回となり、聞き取り調査の結果と概ね整合した。

運搬作業時間単価、積み込み作業時間単価および実作業時間から求めた 1 日あたりの輸送費は 12 万円となった。また、輸送回数にトラック積載量を乗ずることで 1 日あたりの堆肥輸送量が輸送距離ごとに求められるため、輸送距離に応じて単位輸送量あたりの輸送費は変動し、その関数は次式で設定された。

$$C = 68L + 256 \quad (3-3)$$

C : 単位輸送量あたりの輸送費 (円/t)

L : 輸送距離 (片道) (km)

ここで、現状の輸送必要量 (余剰量) はリン重量をベースに与えられているため、これを堆肥重量に換算した。前述したふん現物およびリンの発生原単位の関係から減量化率ごとの単位堆肥重量あたりのリン含有量を次式により求めて堆肥重量に換算した。

$$p = 0.1743D^{-1} \quad (3-4)$$

p : 単位堆肥重量あたりのリン含有量 (kg/t)

D : 堆肥の減量化率

表 3-4 輸送条件

項目	設定値
1 日あたり実作業時間	h 8.0
平均走行速度	km/h 40
積み込み・積み下ろし作業時間	min/回 12
トラック積載量	t 11
運搬作業時間単価	円/h 7,000
積み込み時間単価	円/h 8,000

### 7) ケース設定

3. (2) 2) で設定した堆肥化施設の設置箇所 3 パターンについて、3. (2) 3) で設定した貯留期間 3 条件を組み合わせた合計 9 つのケースで施設建設費と輸送費を試算した。施設建設費の減価償却期間を 15 年、金利は 2% とし、年間費用を算出した。なお人件費を含む施設の維持管理費は評価対象外とした。輸送費は供給点から堆肥化施設までの輸



送費と堆肥化施設から需要点までのそれぞれについて3.(1)と同様に加重平均距離を求め輸送距離Lとした。また、畜産農家の経営内での輸送(集落内における輸送)の輸送距離を一律2kmとして、現状の輸送費および9つのケースのベースラインとして試算に含めた。なお、最大輸送距離による輸送先の制約は行わず、畑作利用率はすべてのケースで70%とした。

### 8) 評価結果と考察

現状および各ケースにおける施設建設費と輸送費の評価結果を図3-4に示す。まず、同じ貯留条件における堆肥化施設設置箇所のパターンによる違いを比較すると、合計費用は、高い方から「拠点集中型」、「拠点分散型」、「集落個別型」の順であった。また、すべてのケースで輸送費が支配的だった。この要因として、供給点から堆肥化施設までの輸送時に減量化があまり進んでいない高水分状態の家畜排せつ物を輸送する際の非効率性が大きく寄与していると考えられる。「拠点集中型」や「拠点分散型」では、「集落個別型」に比べ供給点から堆肥化施設までの輸送距離が長くなることによる輸送費の増加が、施設建設費のスケールメリットを上回ることを意味している。

次に、貯留条件による違いを比較すると、いずれのパターンにおいても合計費用は高い順に「短期貯留」、「長期貯留」、「中期貯留」の順であった。「短期貯留」では堆肥生産の回転率が高いため、施設建設費が小さくなるものの、生産される堆肥の減量化が他の2条件より進んでいないため、施設から需要

点までの輸送費が大きくなることが要因であると考えられた。また、今回の試算では「中期貯留」と「長期貯留」で減量化率に差がなかったことから、この2条件における輸送費は等しくなり、相対的に施設建設費の小さい「中期貯留」の合計費用が最も安価になった。

しかし最も合計費用が安価な「集落個別型」パターンにおいても合計費用、すなわちリンを循環利用するための必要コストは現状より増加することが分かった。この金銭的負担の増加に対して供給側である畜産農家にインセンティブが働かないことが、循環利用におけるボトルネックの一つであると考えられた。このボトルネックの解消のためには、畜産農家側に循環利用によるメリットを提示する必要があると考えられた。

### [参考文献]

- 1) 柚山ら：輸送問題からみたバイオマス利活用，農業土木学会誌，Vol.73(12)，pp.1087-1091，2004
- 2) 横田ら：製造条件の異なる牛ふん堆肥の無機態リン酸組成，日本土壌肥科学会誌，Vol.74(2)，pp.133-140，2003
- 3) 中央畜産会：堆肥化施設マニュアル，2000
- 4) 畜産環境整備機構：家畜ふん尿処理施設・機械選定ガイドブック，2005
- 5) 築城幹典・原田靖生：家畜の排泄物量推定プログラム，システム農学，Vol.13，pp.17-23，1997
- 6) 関戸知雄，土手裕，井上雄三：畜産廃棄物の適正資源化量決定のための窒素・リンのフロー解析，廃棄物学会誌，Vol.18(6)，pp.382-391，2007
- 7) 畜産環境整備機構：機構家畜ふん尿処理施設の設計・審査技

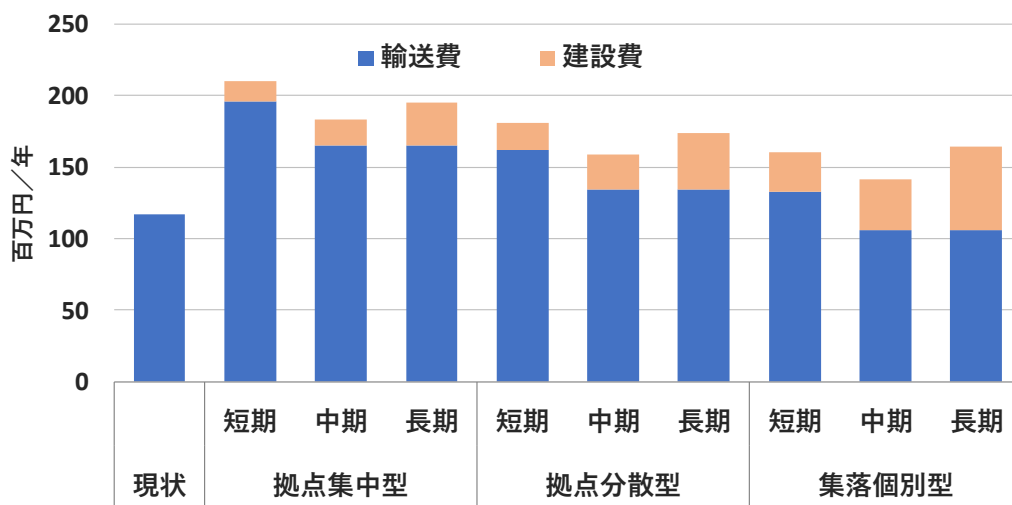


図3-4 施設建設費と輸送費の評価結果

術, 2004

- 8) 農林水産省：堆肥舎等建築コストガイドライン, 2015
- 9) 伊藤吉紀, 中田俊彦：家畜排泄物の地理的分布を考慮したバイオマス利活用プラントの配置と促進方策の検討, 日本エネルギー学会, Vol. 87(1), pp. 56-67, 2008

#### 4. リンの循環利用による間接的な費用削減効果の評価

##### (1) 畜産農家（供給）側の視点による評価

###### 1) 評価方法

堆肥化施設における堆肥化によって、熟成が進み現状よりも堆肥の品質は向上すると考えられる。そこで、現状ではほとんど無償に近い価格で扱われている堆肥に金銭的価値が生まれることを考慮する。

堆肥単価は地域特性や品質の差異による変動幅が非常に大きく、品質の定義もあいまいな場合が多い。本研究では、堆肥の単価を品質に応じて3段階に設定して販売している北海道内の乳用牛堆肥の単価を参考にした。なお、この例の3種類の単価は、著者が確認できた堆肥単価（1,000円～10,000円/t）の範囲と概ね一致している。堆肥価格の違いと循環利用に必要なコスト（今回の試算では施設建設費および輸送費）の変動の関係性を評価した。

貯留条件の違いにより堆肥の品質に差が生まれると仮定し、表4-1に示す通り各条件における堆肥単価を設定した。なお、3.（3）4）の計算においては、「中期貯留」と「長期貯留」条件の乾物分解率に差がなく減量化率は同じであるが、実際には貯留期間（定期的な繰り返し作業を行う期間）が長くなることで品質に差が出ると仮定し、「中期貯留」と「長期貯留」条件の堆肥単価に差をつけた。前章の評価において必要コストが最も安価となった「集落個別型」について、必要コストと堆肥価格を比較した。

表4-1 貯留条件と堆肥状態・堆肥単価<sup>1)</sup>の関係

貯留条件	堆肥の状態	堆肥単価 (円/t)
短期貯留	未熟	3,000
中期貯留	半完熟	5,000
長期貯留	完熟	7,000

###### 2) 評価結果および考察

評価結果を図4-1に示す。必要コスト（施設建設費および輸送費）から堆肥価格を差し引くことによって、いずれの貯留条件においても現状からのコスト増加分をカバーできることがわかった。さらに、

「中期貯留」、「長期貯留」条件においては堆肥価格が必要コストを上回る結果となった。これは供給側の畜産農家が堆肥の品質向上にコストと手間をかけることが、自身にとってのメリットになり得ることを意味している。

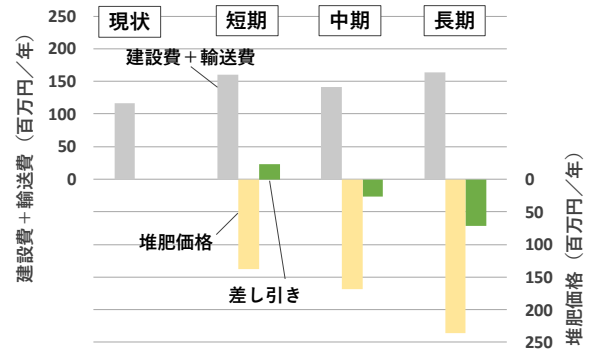


図4-1 集落個別型の必要コストと堆肥価格の比較評価結果

##### (2) 畑作農家（需要）側の視点による評価

###### 1) 評価方法

需要側である畑作農家の視点から、堆肥の肥料成分としての機能によって、削減できる化学肥料のコストを評価した。評価の入力データを表4-2および表4-3に示す。Z町の主要作物であるたまねぎの施肥標準<sup>2)</sup>を肥料成分の必要量とした。「現状」は、普通作物畑の全面積に肥料成分必要量相当の化学肥料（高度化成肥料）を投入する想定とした。それに対して堆肥利用が促進する「個別集落型」においては、普通作物畑の70%に堆肥化施設で生産される堆肥を施肥上限量まで投入し、残り30%は全量化学肥料を投入する想定とした。堆肥に含まれる肥料成分の有効成分量に相当する化学肥料量が削減可能<sup>2)</sup>とし、堆肥の施用で不足する分を化学肥料（高度化成肥料および単肥）で賄うこととした。国内での化学肥料の流通価格<sup>3),4)</sup>より「現状」および各条件で必要な化学肥料コストを見積った。なお、評価は主要肥料成分である窒素、リン、カリウムについて行った。

表4-2 肥料成分必要量と堆肥による成分供給量<sup>2)</sup>

項目		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
肥料成分必要量	kg/10a	15	15	15
堆肥中の有効成分量	kg/t	1	3	4
堆肥施用による肥料成分供給量	kg/10a	3	9	12

※堆肥の施肥上限量：3t/10a<sup>2)</sup>とする

表 4-3 化学肥料の成分量および価格  
(現物 20kg あたり)

肥料種類	成分量	価格 (円)
高度化成肥料 (15-15-15)	N、P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O 各 15%	3,225 <sup>3)</sup>
窒素単肥 (硫酸アンモニウム)	N 21%	1,160 <sup>4)</sup>
リン単肥 (過リン酸石灰)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 17.5%	1,596 <sup>3)</sup>

## 2) 評価結果および考察

評価結果を図 4-2 に示す。肥料成分として堆肥を利用することによって、現状より化学肥料を約 3 割削減することが可能であることがわかった。ただし、肥料成分としての機能だけに着目すると、堆肥価格を合わせた合計コストは「現状」よりも増加する結果となった。したがって肥料成分としての機能以外の堆肥利用による付加価値（生育の安定、病害虫低減、生産物の高付加価値化など）を畑作農家に提示できるかどうか、循環利用を推進するポイントとなることが示唆された。

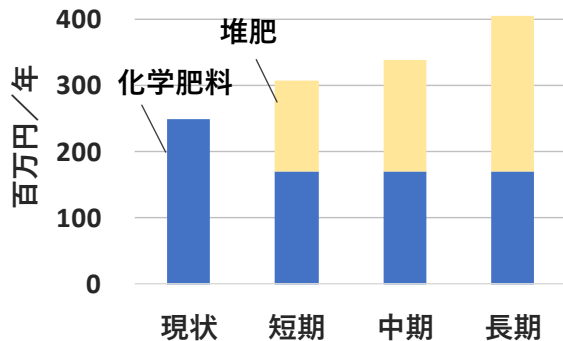


図 4-2 現状および貯留条件別の化学肥料と堆肥のコスト評価結果

### [参考文献]

- 1) 札幌市農業委員会：札幌市農業委員会だより第 2 号，pp. 4, 2004
- 2) 北海道農政部：北海道施肥ガイド 2015，2015（再掲）
- 3) 農林水産省：農業生産資材（農機、肥料、農薬、飼料など）コストの現状及びその評価について，pp8，2016
- 4) 農林水産省：生産資材価格の引下げに向けて，pp4，2016

## 5. まとめ

モデル地域におけるリン需要／供給の分析およびリンの循環利用による必要コストと削減コスト等の評価を行い、以下の知見を得た。

- ・畜産農家の経営内利用のみでは、リンの余剰が発生してしまうため、余剰を解消し循環利用を推進するためには需要側の畑作農家への輸送と堆肥施用畑面積の拡大が不可欠であることがわかった。
- ・余剰分のリン相当量の家畜排せつ物を堆肥化施設で堆肥化し畑作農家まで輸送する想定でコスト評価を行った結果、堆肥化施設を発生地点近傍に設置する「集落個別型」で施設建設費と輸送費の合計コストが最も安価になった。
- ・現状と比較すると、今回試算したケースではいずれもコストが増加してしまう結果となり、この金銭的負担の増加に対して、畜産農家にインセンティブが働かないことが、循環利用におけるボトルネックの一つであると考えられた。
- ・畜産農家側の視点で、循環利用に必要なコスト（施設建設費および輸送費）と品質による差を見込んだ堆肥価格の比較評価を行った結果、堆肥価格が必要コストを上回る場合があり、堆肥の品質向上を図ることが畜産農家のメリットになり得ることがわかった。
- ・畑作農家側の視点で堆肥利用により削減可能な化学肥料コストの評価を行ったところ、現状に比べて約 3 割のコスト削減効果があることがわかった。
- ・堆肥の肥料成分としての機能のみに着目した場合、堆肥と化学肥料の合計コストは現状より増加してしまうため、堆肥利用による付加価値の部分を畑作農家に提示することが循環利用を進めるうえで重要であることが示唆された。
- ・供給地と需要地が著しく離れている場合については、技術的な革新による大幅な輸送コスト削減もしくは別の処理方法などの構築が必要であることがわかった。また、今回評価しきれなかった労力の部分についてはさらなる検討を要する。

研究成果は、北海道におけるリンの循環利用に向けた対策検討の際に基礎的知見として活用する。

### [謝辞]

本研究に伴う調査にご協力いただいた Z 町の関係者の方々に記して謝意を表します。