

ライフワークとしてのシステム農学とシステムアプローチ

○広岡博之(京都大院農)

1. はじめに

システム農学会の設立当初のころからシステム農学会に所属し、会員歴は長いですが、これまでの研究人生を振り返れば常にシステム農学が研究のベースにあったような気がする。もちろん、畜産学という専門分野を持っているが、多くの畜産学研究者が一つの畜種を対象とし、栄養学、育種学、遺伝学、繁殖学、畜産物利用学などより細分化した専門分野の中で研究しているのに対して、演者はシステム研究を通じてこれら様々な専門分野を横断的に俯瞰した研究を行ってきたと自負している。本講演では、あくまでも畜産学の枠組みの中かもしれないが、演者と演者の研究グループが実践してきたシステム農学的な取り組みを紹介することを目的とする。

2. モチベーション

農学分野、特に生物系分野においては、研究のツールとしては対象の生物を使った実験が中心であるが、演者は実験そのものが苦手な方向性を持っていないので、実験を必要としない研究テーマを探していたところ、システム農学に興味を持った。そこで修士課程に入り、畜産に関するシステム研究として着手したのが、繁殖雌牛の体重データの成長曲線式への当てはめ、乳牛の泌乳量のデータの泌乳曲線への当てはめ、それに採卵鶏の産卵数の産卵曲線への当てはめであった。しかしこれらの研究は家畜の生産システムの産出量のみを対象としているにすぎず、入力である摂取量と産出量の関係性を調べるのが重要と考え、家畜のエネルギーフローやタンパク質フローをもとに家畜の発育と生産性、さらには生産効率を総合的に検討するための個体レベルの生産システムモデルを開発することとなった。

3. 遺伝子レベルから国家レベルまでの生産システム研究－ライフワーク－

これまでの40年間の研究を振り返ると、肉牛(和牛)を中心に他の畜種も含めて遺伝子レベルから国家レベルまでの様々な階層の生産システムのモデル開発を行ってきたと言える。たとえば肉牛の繁殖経営の生産システムのモデルを作成しようとするならば、母となる繁殖雌牛に加えてその繁殖雌牛が生産する子牛も含めてモデル化の対象とする必要がある。さらに肥育生産も含めた一貫生産を対象とするならば肥育牛も含めて母牛、子牛、肥育牛に関するモデル化が必要となる。また、放牧を考える場合には、放牧牛だけではなく、家畜、牧草、土壌の生態系における栄養素のフローまでもモデル化の対象となる。さらに家畜と耕種作物の両方を生産している耕畜連携複合生産を対象とする場合には、家畜と耕種作物の両方を考慮した農家レベルでのモデル化が必要となり、それをさらに地域レベルにまで拡張することも可能となる。また水田からの食用米、飼料米、飼料稲発酵粗飼料、水田放牧などを対象とした最適な家畜生産のための水田利用の研究などは国家レベルの研究も実施してきた。

他方、個体よりも下位の器官や組織を対象とした研究もある。ウシなどの反芻動物では、第1胃(ルーメン)にはそこに生息する様々な微生物の世界が広がっており、家畜が摂取した栄養素の分解や代謝の過程のモデル化は古くから行われている。さらには、遺伝子間のネットワークについてもデータが得られればモデル化は可能で、実際、システムバイオロジーの研究ターゲットの一つは遺伝子レベルでのモデル化といえる。

4. 生物, 経済, 環境

個体レベル未満のレベルのモデル化は、生物学や生命科学の情報のみで実施されるが、個体レベル以上の生産には人間が関わるため、その生産性の評価には飼料利用効率などの生物学的効率に加えて、生産物やその副産物から得られる収入と生産コストから得られる利益や経済効率を評価することが必要で、バイオエコノミックモデルの開発が不可欠である。また、1990年代以降に家畜由来の環境負荷の問題が盛んに議論されるようになり、家畜生産においても生物学的効率や経済効率に加えて環境負荷の影響も考慮するモデル開発が必要となってきた。たとえば、家畜ふん尿由来の窒素やリンの排泄量の予測や消化管発酵由来のメタン産生量の予測も研究テーマに加わり、これらの要因を取り込んだ環境バイオエコノミックモデルの開発を実施してきた。

5. 生産サイドと消費サイド

一般に家畜生産システムの研究は生産サイドからのものが大半であったが、生産から、流通、消費までも含めたフードシステムを対象とする研究も重要と考えられる。生産された畜産物に対して消費者はどのような意識を持ち、高価で購買してくれるかは生産者にとっては重要な情報であるし、そのような価値観までもモデルに組み込むことができれば、より洗練されたモデルの開発が可能になろう。さらに、生産者と流通業者の間で決まる枝肉価格の分析などもモデル化のための情報収集として必要なものと言える。さらに糞尿処理施設に対する周辺住民の意識調査も手掛けてきた。

6. モデルの評価と理論研究

研究を始めた当初、周りの学生や他分野の研究者からよく受けた質問は作成したモデルの妥当性についてであった。通常、モデルを作成する方法として多くの実験データを積み重ねてモデルを作成する方法(ボトムアップ法)と先行研究のモデルや文献値をもとにモデルを作成する方法(トップダウン法)があるが、これまで開発してきたモデルは主として後者の方法を用いて、国内外の飼養標準で用いられている数式をベースにモデルを作成してきたため、実験研究者にはしばしば疑問を持たれてきた。したがって、モデルの評価法の検討やモデルの中で用いた個々のパラメータがシステム全体に及ぼす挙動に及ぼす影響を定量化する方法なども行ってきた。

7. 牛肉の安全性に関わる問題へのアプローチ

この 40 年間に牛肉の安全性を脅かすような事件が何度か起こった。そのうちの牛肉のダイオキシン汚染と東京電力福島第一原子力発電所で放出された放射性セシウムの牛肉への移行に関する問題は深刻で、その実態を解明し、最善な方策を検討するためのモデルの開発と適用を実施した。

8. おわりに

かつて塩見(2017)はシステム農学誌において「農業システム」と「システム農学」を区別し、「システム農学」は農学の専門領域を統合してシステム化する研究と定義した。演者のこれまでの研究は、研究対象は家畜生産であったとしても文理融合と学際性を常に意識しながら研究してきたように思う。一般に言われる学際研究や文理融合の概念は、異なる専門領域の研究者(研究者集団)が集まり、協力して研究することがイメージされるが、これまでの経験から、より重要な事はそれぞれの研究者が文理両方の知識を持ち、その両面から問題解決に当たることのような気がしている。システム農学に属する研究者は、学会を通じて文理両方の考え方や思考過程を学ぶことができ、そのことこそが研究にもさらには教育にも重要と考える。理系科学の前提は人間が存在しないことであり、文系科学の前提は自然が存在しないことである。農学には自然も人間も存在し、本質的に文理両方のシステム農学の考え方こそが必要不可欠であるといえる。

9. システム農学掲載論文

- (1) 広岡博之, 山田行雄 (1989) システムシミュレーション:その問題点とアプローチ. システム農学, Vol. 5, No. 1, pp. 62-71.
- (2) 広岡博之, 山田行雄 (1989) シミュレーションモデルの評価. システム農学, Vol. 5, No. 2, pp. 55-64.
- (3) 広岡博之, 大久保忠旦 (1991) 複雑な生態系モデルのモンテカルロ感度分析法の頑強性. システム農学, Vol. 7, No. 1, pp. 1-9.
- (4) 広岡博之 (1993) コンパートメントモデルにおけるシミュレーション法の関係について: 差分方程式とマルコフ連鎖. システム農学, Vol. 9, No. 1, pp. 1-6.
- (5) 広岡博之 (1998) 肉用肥育・水稲稲作複合システムに関する環境—経済モデルの開発とシミュレーション. システム農学, Vol. 14, No. 2, pp. 65-73.
- (6) 広岡博之 (2000) 牛肉へのダイオキシン汚染経路に関する総説. システム農学, Vol. 16, No. 2, pp. 123-128.
- (7) 広岡博之 (2000) ダイオキシンの牛肉への蓄積モデルの開発とシミュレーション. システム農学, Vol. 16, No. 2, pp. 129-136.
- (8) 広岡博之, 家入誠二, 島田和宏, 林 孝 (2003) 肥育豚に関する窒素排泄量予測モデルの開発とシミュレーション. システム農学, Vol. 19, No. 1, pp. 43-50.

- (9) 佐々木義之, 広岡博之, 築城幹典 (2004) 畜産業のシステム分析. システム農学, Vol. 20, pp. 125–137.
- (10) 長命洋佑, 中川悦光, 小島英紀, 広岡博之 (2005) 家畜ふん尿処理システムに対する住民意識の分析. システム農学, Vol. 21, No. 1, pp. 15–24.
- (11) 小邨孝明, 広岡博之, 守屋和幸 (2005) 肉牛肥育と飼料生産複合システムにおけるエネルギー消費モデルの Differential Evolution による最適化. システム農学会, Vol. 21, No. 3, pp. 217–224.
- (12) 長命洋佑, 竹内佳代, 福井弘之, 先川香緒里, 熊谷 元, 広岡博之 (2007) 徳島県高志地区におけるイネ発酵粗飼料利用農家の分類と意識調査. システム農学, Vol. 23, No. 4, pp. 317–325.
- (13) 広岡博之 (2007) システム農学における分析ツールの再検討. システム農学, Vol. 23, No. 3, pp. 201–204.
- (14) 児嶋朋貴, 大石風人, 太田典宏, 吉岡正行, 熊谷元, 守屋和幸, 広岡博之 (2010) GPS および GIS を用いた放牧牛の耕作放棄地における空間的利用パターンとそのエネルギー消費量の関係. システム農学, Vol. 26, No. 4, pp. 141–149.
- (15) 加藤陽平, 大石風人, 熊谷 元, 石田修三, 合原義人, 岩間永子, 永西 修, 池口厚男, 荻野暁史, 広岡博之 (2011) アマニ油脂肪酸カルシウムを用いた肉用牛肥育生産における最適飼料設計とその LCA 評価. システム農学, Vol. 27, No. 2, pp. 35–46.
- (16) 広岡博之 (2012) わが国の肉用牛肥育生産における牛肉中の放射性セシウム濃度と排泄量を予測するモデルの開発. システム農学, Vol. 28, No. 1, pp. 9–17.
- (17) 加藤陽平, 大石風人, 熊谷 元, 丸山 晶, 永西 修, 荻野暁史, 広岡博之 (2014) 肉用牛肥育試験データに基づく飼料へのアマニ油脂肪酸カルシウム添加の経済および環境影響評価. システム農学, Vol. 30, No. 4, pp. 119–129.
- (18) 安中勇大, 大石風人, 安在弘樹, 三輪雅史, 熊谷 元, 広岡博之 (2015) 阿蘇草原の火入れおよび放牧による植生量の変化に対する衛星画像解析. システム農学, Vol. 31, No. 4, pp. 117–125.
- (19) 瀬戸口暁, 大石風人, 堺 久弥, 北浦日出世, 熊谷 元, 家入誠二, 広岡博之 (2016) 褐毛和種周年放牧肥育生産に関する LCA による環境影響および経済性の評価. システム農学, Vol. 32, No. 2, pp. 57–69.
- (20) 広岡博之 (2017) システム農学におけるシミュレーションモデルの役割と将来展望. システム農学, Vol. 33, No. 3, pp. 77–84.
- (21) 瀬戸口暁, 大石風人, 熊谷 元, 今井裕理子, 川本康博, 広岡博之 (2017) 亜熱帯地域における褐毛和種去勢牛周年放牧肥育に関する環境影響評価. システム農学, Vol. 33, No. 1, pp. 1–9.
- (22) 安中勇大, 大石風人, 安在弘樹, 三輪雅史, 熊谷 元, 家入誠二, 広岡博之 (2018) GPS を用いた放牧肥育牛の行動量およびエネルギー消費量に対する肥育期と季節の影響評価. システム農学, Vol. 34, No. 1, pp. 17–25.
- (23) 広岡博之 (2018) これからのシステム農学を考える. システム農学, Vol. 34, No. 1, pp. 95–98.
- (24) 清水祐哉, 大石風人, 園田裕太, 加藤弘樹, 木村義彰, 広岡博之 (2020) 酪農家の選好に基づくバイオガスパラントに対する支払意思額の推定—離散型選択実験による実証研究—. システム農学, Vol. 36, No. 1, pp. 1–13.
- (25) 児島優稀, 大石風人, 上西彰悟, 内藤 啓, 井上貴詞, 永田富治, 長瀬祐士, 北村祥子, 糸山恵理奈, 吉岡 秀, 星野洋一郎, 熊谷元, 広岡博之 (2021) ウシに対する新たな心拍測定手法としての心弾動測定法の検討. システム農学, Vol. 37, No. 1, pp. 1–7.
- (26) 浅田伊純, 堺 久弥, 中村寿男, 大石風人, 熊谷 元, 広岡博之 (2021) 日本有数の畜産地帯における窒素・リン収支の推定. システム農学, Vol. 37, No. 3, pp. 49–62.
- (27) 中村颯一郎, 塚原洋子, 長命洋佑, 熊谷 元, 広岡博之 (2023) シロアリを摂取したニワトリの鶏肉, 鶏卵に対する喫食意思および支払意思額. システム農学, Vol. 39, No. 2, pp. 31–43.
- (28) 大西康介, 大石風人, 小島優稀, 児嶋朋貴, 山中清華, 田島 栞, 熊谷 元, 広岡博之 (2023) 首輪の行動センサーデータを用いた放牧家畜エネルギー消費量推定モデルの利用可能性の検討. システム農学, Vol. 39, No. 2, pp. 45–55.
- (29) 大西康介, 大石風人, 児嶋朋貴, 児島優稀, 外山尚典, 熊谷 元, 広岡博之 (2024) 加速度センサーを用いた動的体加速度測定による肉用牛の行動評価—敷料交換が肉用牛の行動に及ぼす影響. システム農学, Vol. 39, No. 4, pp. 85–96.
- (30) 広岡博之 (2024) 日本の乳生産と肉用肥育生産からの消化管内発酵由来によるメタン排出量の評価. システム農学, Vol. 39, No. 4, pp. 97–105.