HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	食肉経済システムの制御：牛肉輸入制度による価格安定の可能性
Author(s)	松田, 友義
Citation	北海道大学農經論叢, 38, 71-91
Issue Date	1982-03
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/10960
Type	bulletin (article)
File Information	38_p71-91.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

食肉経済システムの制御

―牛肉輸入制度による価格安定の可能性―

松田友義

目　次

1. はじめに

これまでの食肉経済についての研究においては，牛肉・豚肉等に関する食肉経済を，それぞれ別個に取り上げたものが多く，個々の食肉経済にとって，その影響の重要性が無視し得ないと思われる代替食肉との関連を明示的に考慮に入れているものは少なかった。

牛肉経済についても，あたかも牛肉問題の解決は，牛肉についてのみ知ることによって可能である，というような視点に立つものが多く，代替食肉との関連は無視されるか，考慮されていてもフィードバックのような相互関連としてではなく，一方向的な関係のみが仮定されている場合が多かった。しかし，食肉経済のように，それを構成する要素（牛肉・豚肉・鶏肉等）間の相互依存関係，代替関係が明らかな場合，牛肉経済のみを対象とした分析からは，現実と十分に対応した結論を得ることは困難と考えられる[1)]。

1) ボールディングは個体（システム論でいう各要素を指す）の行動の研究に際して，個体が小さい場合には，環境（対象とする要素以外の諸要素，あるいはその影響）を所与として，環境の変化に対する個体の反応は，この反応が環境それ自体に及ぼす影響を無視しても研究できる，とした上で，次のように述べている。「……，とりわけ少数の個体が相互作用をしあっているような場合には，われわれは，各個体の環境は他の個体からなりたっており，各個体自身は他の個体の環境の一部分を形作っている，ということを認識しなければならない。」（ボールディング〔2〕）

牛肉と代替食肉との相互関連，相互作用を効果的にとらえるためには，牛肉経済を食肉経済という大きな枠組みの中において考察することが必要となるが，本稿では，そのような視点に立って，分析の枠組みとして食肉経済システム[2)]を考え，牛肉経済をその一部として位置づけることによって，より現実に即した分析を試みている。

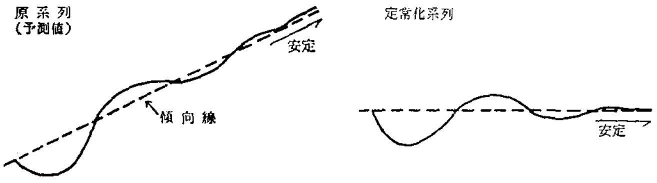
システム解析の最終的目標は，周知のように，対象とするシステムの変動の予測あるいは制御にある。とりわけ経済システムのように，予測の結果が直接将来変動を左右すると考えられる場合は，予測に際してその影響をも考慮せざるを得ない，という意味において制御が重要な課題となる。また，システムという概念が，ある共通の目標を達成するための，互いに関連のある多くの要素の集合体を表すことから考えても，各要素が目標達成のために，どのように機能し合っているのかを分析することが，直ちにシステムの制御の問題につながることは自明のことと言える。

制御を目標とし，それを実効あるものとするためには，システムの動きをよく観察し，システムの特性をよく理解する必要があることは言うまでもない。また，システム設計に先立って，システムの範囲をどのように決定するか，即ち，システムの内部（要素）と外部（環境）とを特定することが問題となるが，このためには，分析の目的に応じて，あるいは対象とするシステムが何を目標としたシステムとして考えられているのかということによって決定するという方法が適当であろうと考える。本稿の目的は，牛肉価格安定のための現行制度の効果とその可能性について検討するということであり，食肉経済システムとしての範囲は，牛肉と代替関係にある食肉との相互依存，費用構造による生産費変動の影響等を明示的に考察するための必要最小限のものが考えられている。本稿において仮定した食肉システムは，前述の意味で牛肉経済を中心としたものであり，システムの目標としては牛肉価格の安

2）システムという用語は，最近多くの分野で用いられているが，定義の仕方が各分野で異ることからもわかるように，システム論自体が，今だに体系として確立されていない発展しつつある分野である。各種の定義に共通することは，システムが多くの要素から成り，それぞれの要素が互いに作用し合って，ひとつの全体を形づくっているととらえる点であろう。本稿においてはシステムという用語を，あるひとつの目標に関してその相互依存性が無視できない諸要素の関連を考慮に入れた結合体，という意味で用い，システムの要素の選択もそれに従って行なった。

定が考えられていると言える。豚肉等の牛肉以外の構成要素は，牛肉価格に重大な影響を与えるということから選択され，考察されており，豚肉価格等の安定は，牛肉価格安定との関連の上でのみ考慮されている。

また，価格の安定という場合，価格水準そのものを一定不変にするという考え方と，図-1のように，不規則な上下動のような変動を除去するという考え方とがあるが，本稿においては，安定という用語は後者の意味で用いられている。本稿において取り扱うデータは経済時系列の形で与えられており，経済時系列は，周知のように，傾向変動，循環変動（周期変動），季節変動，不規則変動の4成分から成る。しかし，これらの成分は，制御という観点からは全く異なる性質を持っており，時系列としてそのまま扱うことは無意味であると考えられる。上記4成分のうちで，システム内の要素を操作することによって安定させる可能性を持つのは，システム内のフィードバック構造に拠るところの大きい，循環変動のみであり，制御の対象は当然この部分となる。実際の分析に，傾向変動・季節変動を除去した定常化系列を用い，安定の意味を前述のように考えるのは，この経済時系列を構成する成分間の性質の相違を考慮したことに対応している。



図—1

本稿は，本来「食肉経済システムの解析と制御」として，1本の論文となるはずのものの後半部分に当たり，前半部分は本誌に「食肉経済システムの時系列解析——牛肉を中心として——」（松田〔1〕）として既に発表されている。上記論稿においては，スペクトル解析の手法を利用して，システム構造の推定，不安定要因の指摘等を行なった。後半部分にあたる本稿においては，これらの結果を利用して，状態空間表現法による最適制御モデルの設計，制御シミュレーションを行ない，牛肉輸入制度による牛肉価格安定の可能性について検討する。

2.　システム構造の分析

本章は前述の拙稿（松田〔1〕），の要約である。

システムの構成要素としては，牛肉小売価格（BFRP），牛肉卸売価格（BFP）の他に，牛肉価格に対する相互依存関係が無視し得ないと考えられる豚肉卸売価格（PKP），ブロイラー卸売価格（BRP），生乳価格（RMKP），飼料価格（FDP），牛肉輸入量（BF 4）の，計7系列を選んだ。分析に用いたデータは表-1の通りである。

表—1　データ系列

記号	変数名	出所
BFRP	牛肉小売価格（東京；精肉「上」）	食肉流通統計
BFP	乳雄枝肉卸売価格	〃
PKP	豚枝肉卸売価格	〃
BRP	ブロイラー卸売価格	食鳥流通統計・ブロイラー流通統計
RMKP	生乳価格（総合）	農村物価賃金統計
FDP	飼料価格（肉牛肥育用）	〃
BF 4	牛肉輸入量	日本貿易月報（大蔵省）
データは月次データ，用いたのは1965年1月から1978年8月までの164個		

それぞれの系列について，パワースペクトルを推定した結果，いずれも顕著な周期変動を含むことが明らかとなった。牛肉小売価格の系列においては，和牛サイクル[1)]と同様の60カ月弱の周期性が，牛肉卸売価格においては，データに乳雄の系列を用いたために，35カ月程度の乳雄サイクルが，それぞれ検出された。その他の系列においても豚肉卸売価格で40数カ月，ブロイラ

1)　牛肉経済における周期変動，いわゆるビーフサイクルは，従来「のぼり千日，くだり千日」の千日相場と言われてきたように，70数カ月の周期を持つとされてきた。この周期性は和牛の生産構造に規定されたものであるが，最近，乳雄肉の供給が急増するとともに，乳雄牛肉の生産構造に規定された35カ月程度の周期を持つ短周期の周期変動がビーフサイクルに混在してきたことは，既に筆者が指摘したところである（松田〔3〕〔4〕）。和牛サイクルという言葉は，この和牛生産に関わる長周期のサイクルと，乳牛生産に関わる短周期のサイクル（乳雄サイクル）とを明確に区別するために，上記論稿において筆者が用いたものである。

ー卸売価格で30数カ月，生乳価格と牛肉輸入量の系列で乳雄サイクルと同じ35カ月程度，飼料価格で50カ月程度の周期性がそれぞれ確認された。

また，コヒーレンスの推定結果から，各系列の周期性を表すスペクトルピークの集中する周波数帯においてコヒーレンスが高く，各系列の変動が，時間的ズレを伴いながらもかなりまとまった関係を保って変動していることが明らかとなった。これは本稿における基本的姿勢であるシステム論的な把握の必要性を示すものであり，相互依存，フィードバックの存在を前提として分析するという本稿の視角の正しさを立証するものと考えることができる。

フェイズによる時間的ズレの推定からは，牛肉輸入量の変動が牛肉卸売価格の変動に対して比較的スムーズに反応しており，現行制度において安定を図られているのは主として乳雄らしいことが明らかとなった。和牛あるいは乳廃牛価格は波及的に安定するものと考えられているのであろう。

最後にパワー寄与率の推定結果から，今回仮定した食肉システムにおける最大の不安定要因が牛肉卸売価格であることが明らかとなった。また，現行輸入制度，価格安定制度において，操作変数として考えられている牛肉輸入量は，長期的にみた場合，独自の変動要因による変動割合が大きく，国内の需給動向に必ずしも密接に対応していないばかりでなく，他要素の変動に対する寄与率（影響力の度合）も小さいことが明らかとなった。このことから現行制度は，効果的に機能していないと結論づけることができる。

以上がシステム構造の推定から引き出された結論である。この結論が，輸入量の調節によって価格の安定を図るという制度そのものの，本来的な欠陥によるものなのか，あるいは，制度自体に欠陥はないが，運用面のまずさで十分に機能していないのか，その問いに答えるのが本稿における課題である[2)]。

---

2) 牛肉価格安定のための制度には，他に子畜価格の安定を図るための肉用牛価格安定事業，飼料価格安定のための配合飼料価格安定基金制度等がある。本稿のように牛肉輸入制度のみで牛肉価格の安定，ひいては食肉経済システム全体の安定を考えることと，前述のような種々の安定策を併用することとは，何ら矛盾するところはない。複数の安定策を同時に，かつ適切に実行することは，目標とする変動あるいはシステムの安定を速かに，より効率的に実現する手段となるであろう。

3. 牛肉輸入制度

現在，牛肉価格安定制度として，輸入割当制による数量調節と，安定価格制度による価格調節とが併用されているが，本稿においては，価格安定制度の基本はあくまでも輸入制度にあり，安定価格制度はそれを補完し，買い入れ，売り渡しの基準を与えるものにすぎないという観点に立って分析する。

輸入制度の趣旨，繁雑な手続き等については，他にもいろいろな研究が既に発表されているので，ここでは本稿の課題に関連した部分についてのみ論及する。

豚肉についても安定価格制度が適用されているが，牛肉の場合と豚肉の場合との本質的な相違は，豚肉が100％国内自給を前提としているのに対して，牛肉の場合は目標とする自給率が，60年度見通しにおいても81％程度(農林省「農産物の需要と生産の長期見通し」)にすぎないというところにある。これは牛肉の場合，安定価格制度は既に牛肉輸入を前提としており，適切な輸入が為されることがあらかじめ期待されていることを示している。この意味で，安定価格制度は，非常事態に備えてのものであると考えることができる(食肉問題研究会〔5〕，p. 83)。即ち，農林省・事業団が適当と考える国内牛肉価格を安定価格として設定し，輸入枠は国内需給の動向を勘案した上で，価格がそれからあまり乖離しない程度に決定されるということである。この輸入数量の制限が，国内牛肉生産農家を2重に保護するものであるという批判(中嶋〔6〕)が為されているが，これは農林省・事業団が適当と考える価格が，諸外国に比べ高すぎるという批判に通じるものであり，価格水準の問題と言うことができる。本稿においては，この価格水準を長期的な傾向に関わるもの，即ち傾向変動として，一応その大部分を除去し，残りの変動を対象として分析しており，目標とする循環変動(周期変動)の抑制と，価格水準の高低の問題とは異なる問題として考えている。

上のような観点から現行牛肉輸入制度を極めて大雑把にとらえると，① 政府・農林省が原則として，年2回，上期と下期に分けて輸入枠を決定する，② この輸入枠の大部分は，需給調整機能を担う主体である畜産振興事業団に対して割り当てられる，③ 事業団は適当な業者を介して牛肉を輸入・保管する，④ 事業団は，国内価格の状況に応じて，それぞれ畜安法によって指定さ

れた販売方法[1]によって輸入牛肉を市場に放出し，あるいは放出を中止する，そのような制度と考えることができる。このように輸入制度をとらえた場合，本稿の目標である価格安定にとって，関連してくる問題点には以下のようなものがある。

まず第１点として，価格が騰貴した場合，この制度によるとかなりの量の在庫を必要とするという点が上げられる。価格の急騰に対して，緊急輸入割当がスムーズに発動されたとしても，現物が到着するまでの数ヵ月間における価格上昇に対処するための在庫が常に存在しなければならない。即ち輸入枠は適正在庫量を含むものとして決定されている必要があるということである[2]。第２点は，適正な在庫があったとしても，価格動向に応じて，いつどれくらいの数量を売り渡したら価格を中心価格の近くに保つことができるかを，調整主体である事業団が知っている必要があるという点である。制御の観点から言うと，この制度が十分効果的に機能するためには，適切なフィードバックゲインについての予備知識を調整主体が持っている必要があるとい

1）事業団による牛肉の売り渡しには，安定価格と市場価格との関係によって下表のような方法がある。

表―1

牛肉（指定食肉）の国内市場価格		輸入牛肉の取扱い
		輸入牛肉の義務売渡しを行なう。（緊急輸入割当）
安定価格帯	安定上位価格	
	中心価格	輸入牛肉の指示売渡しを行なう。（通常輸入）
	安定基準価格	
		売渡しを停止する

注）他に保管経費節減のため特別売渡しがある。
出所）食肉問題研究会編『わかりやすい牛肉の価格安定制度』84頁の図より作成

2）発注から牛肉が到着するまでにはフローズン（冷凍肉）で２ヵ月，チルド（冷蔵肉）だと更に２ヵ月程度かかるとされており，この期間の在庫量はかなり大きなものとなるであろう。また肉質によっては保存期間が短く，大量の在庫を抱えることは，保管費用の増加を防ぐための特別売り渡しを頻繁に行うことにもつながり，価格を混乱させる恐れもある。このように在庫量を適切に保つことが制度上極めて重要な問題となる。

うことになる[3]。更に安定価格制度との関連から，現行安定価格帯の幅が，循環変動を抑制するに足るだけの適切な幅に設定されているか[4]，指定食肉として現在は去勢和牛と乳雄肥育牛の中規格のものが指定されているが，この牛種・規格は適当かどうか，輸入牛肉の品質や部位は適当かどうかなどの問題点を指摘することができる。

しかし，上に指摘した問題点はいずれも制度の運用に関わるものであり，本稿で仮定した食肉経済システムにおいては，牛肉価格をアウトプットする要素（サブシステム）をブラックボックス[5]として考えた場合のその内容にあたる部分である。このことから，本稿における分析からは，上の諸問題を明示的に分析することはできなかった。本稿の副題に価格安定の可能性とあるのは，これを意識したためである。運用面にまで立ち入った分析をするためには，システムをより詳細に設計するなどの方法が必要となるが，上のような問題をかかえた制度が，適切に運用されたとして，価格安定が可能か否かを分析することも，差し当たって無意味なことではないであろうと考える。

4. 最適制御モデルの設計

経済成長や経済循環のように，変数が時間の経過とともに変化するような問題の分析においては，通常定差方程式モデル，微分方程式モデル等のモデ

---

3) 岸本〔7〕においては，この点は次のように仮定されている。(前提 II) 畜産振興事業団が市場価格の情報を得てから適切な操作を実行するまでのタイムラグは1カ月である。(前提 III) 畜産事業団は消費者のもつその他牛枝肉の需要の価格弾力性を知っている。

4) 安定価格帯が循環変動における変動幅よりも広い場合は，この制度が少なくとも循環変動の抑制という点については，ほとんど効果を発揮し得ないことは自明のことである。現在，価格安定帯は中心価格の上下に，過去7年間の価格の変動係数から得られた幅を取って定められているが，7年間という期間は長周期の和牛サイクルの周期に匹適するものであり，循環変動による変動分を全てその中に含んでしまう恐れがあると言える。

5) 経済システムは，そのほとんどがシステム要素として意志決定を含むシステムであり，その細部における意志決定を明示的に表すことが困難である場合が多い。そのためシステムの内部構造を不明としたままで，インプット，アウトプット間の関係だけでシステム要素を規定せざるを得ないが，このような要素あるいはサブシステムを，ブラックボックスと呼ぶ。

ルが用いられてきた。本稿で扱う状態空間表現を利用したモデルは，これらの手法の延長上に考えられるものであり，主にシステム工学等の工学分野で発達してきたものである（榊原〔8〕)。

まず状態という概念について説明しよう。状態とは，ダイナミックシステムについて，その将来の動きを規定するのに必要最小限の現在および過去に関する情報の集積を示すもので，この状態が現在について決定されれば，この知識だけで将来のシステムの動きについて最善の予測が可能となる，そのような変数である。我々が通常観測するデータは，この状態の関数であると考えられる。

状態変数を以上のようなものとして，離散的な時刻の変数 $t=\cdots-1, 0, 1, \cdots$ に関するダイナミックシステムについての状態空間[1]表現を考えよう。

このシステムへの入力を $y(s)$，出力を $x(s)$，状態を $z(s)$ とすると，状態の定義により，

$$
\begin{aligned}
z(s+1) &= \Phi(s+1, s)\, z(s) + G(s)\, y(s) \\
x(s) &= H(s)\, z(s)
\end{aligned}
\qquad (4.1)
$$

という表現が考えられる。ただし $z(s)$, $y(s)$, $x(s)$ はそれぞれ適当な次元のベクトル，$\Phi(s+1, s)$，$G(s)$，$H(s)$ はそれに対応した次元の行列である。とくに $\Phi(s+1, s)$ は時刻 s における状態 $z(s)$ から，時刻 $s+1$ における状態 $z(s+1)$ への移行を規定する行列であり，状態遷移行列と呼ばれる。普通 (4.1) 式の第1式を状態方程式，第2式を出力方程式と呼ぶ。(4.1) 式において，状態方程式は遷移行列による状態の変化と s 期の入力の影響とによって $s+1$ 期の状態 $z(s+1)$ が決定されることを，出力方程式は，s 期の出力が s 期の状態の関数となっていることを示している。

(4.1) 式の表現において，システム構造が時間的に不変であると仮定すると，$\Phi(s+1, s)$，$G(s)$，$H(s)$ はそれぞれ一定の行列 Φ，G，H に一致すると考えることができる。そのように仮定すると，(4.1) 式は

1) ダイナミックシステムとは，時間の経過，あるいは時間的な相互関係が決定的な重要性を持つと思われるシステムを指す。経済事象におけるように，フィードバックが時間的遅れを伴なって行なわれるような場合がこれにあたる。また，状態変数は一般にベクトルとして定義され，それのつくる有限次元ベクトル空間を状態空間と呼ぶ。

$$z(s+1) = \Phi z(s) + Gy(s)$$
$$x(s) = Hz(s) \tag{4. 2}$$

と書き改めることができる[2)]。

定常な時系列についての状態空間表現を考えると，状態 $z(s)$ は，$x(s)$ の現在および過去の値に基づく情報のうち，$x(s)$ の将来の動きに関する部分をすべて含んでいなければならないことは，状態の定義より明らかである。そこで，定常な時系列について次のような状態空間表現が考えられる。

$$z(s+1) = \Phi z(s) + u(s)$$
$$x(s) = Hz(s) \tag{4. 3}$$

ただし，$u(s)$ は $z(s+1)$ の中で，$z(s)$ に線形に関係しない部分であり，$z(s)$ およびその過去の値 $z(s-1)$，$z(s-2)$，… 等と無相関でなければならない。即ち $u(s)$ は一般に多次元のホワイトノイズでなければならない。本稿の前半部分にあたる松田〔1〕において，スペクトル推定，システム構造の推定に自己回帰モデルを適用してきたが，この自己回帰モデルから状態空間表現を導くことができれば，システムの解析と制御が一貫した手法によって可能となる（赤池〔9〕）。次に自己回帰モデルから状態空間表現を導くことを考えよう。

定常時系列の自己回帰モデルは，十分大きな M を考えて

$$X(s) = \sum_{m=1}^{M} A(m) X(s-m) + U(s) \tag{4. 4}$$

---

2) (4. 2) 式のような形で表されるモデルを利用して制御を考える場合，$y(s)$ の選び方によってこのシステムが果たして制御可能かどうか，また $x(s)$ によって状態を決定することが可能かどうかという問題が生じる。これらの問題は，それぞれ可制御性の問題，可観測性の問題と呼ばれる。

可制御とは，状態方程式にのみ関わる問題であり，ある入力 $y(s)$ によって任意の初期状態 $z(0)$ から任意の終端状態 $z(N)$ に移すことができるかどうか，すなわち入力 $y(s)$ によって状態 $z(s)$ を制御し得るかどうかの可能性をいうものであり，これが可能な場合，このシステムを可制御であるという。

可観測とは，システムの出力 $x(s)$ を観測することによって初期状態 $z(0)$ が決定できるかどうか，即ち，入力が既知であるときに，出力 $x(s)$ を観測してすべての状態変数 $z(s)$ $(s=0, 1, \cdots)$ を決定できるかどうかの可能性についてのものであり，これが可能なとき，このシステムは可観測であると言う。

本稿で仮定したシステムについても可観測性，可制御性を持つことを前提としている。

のように表現することができる。ここで $U(s)$ は $X(s)$ の現在および過去の値と無相関なホワイトノイズである。

上式において $s-1$ という時点を考えると，$X(s)$, $X(s+1)$, … 等の $X(s)$ の将来の値と線形に関係する部分は，$X(s-1)$, $X(s-2)$, …, $X(s-M)$ によってすべて尽くされていることがわかる。これと状態の定義とを考え合わせると，次のような状態空間表現を考えることができる。状態変数 $Z(s)$ を

$$Z(s) = \begin{bmatrix} X(s) \\ X(s-1) \\ \vdots \\ X(s-M) \end{bmatrix} \tag{4.5}$$

のように定義する。そうすると状態空間表現は，

$$\begin{aligned} Z(s) &= \Phi_0 Z(s-1) + U_0(s) \\ X(s) &= H_0 Z(s) \end{aligned} \tag{4.6}$$

のように表される。ただし

$$\Phi_0 = \begin{bmatrix} A(1) & A(2) & A(3)\cdots\cdots & A(M-1) & A(M) \\ I & 0 & 0\cdots\cdots\cdots\cdots & 0 & 0 \\ 0 & I & 0\cdots\cdots\cdots\cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \\ 0 & 0 & 0\cdots\cdots\cdots\cdots & I & 0 \end{bmatrix} \tag{4.7}$$

$$U_0 = \begin{bmatrix} U(s) \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \qquad H_0 = [I\,0\cdots\cdots 0] \tag{4.7}$$

ここで I, 0 はそれぞれ適当な次元の単位行列，ゼロ行列である。しかし，(4.7)式のような表現は，$Z(s-1)$ から $X(s)$ の予測値を求めるために，その都度 $\sum_{m=1}^{M} A(m)X(s-m)$ を計算しなければならず，制御という観点から見ると，効率的な表現とはなっていない。そこで，より効率的な表現とするために，現在までのデータを，それが将来使われるときの形に変形して貯えておけるような，新たな状態変数を考える必要がある。

時点 s よりも l 時点先の $s+l$ という時点を考えると，(4.4)式は

$$X(s+l) = \sum_{m=1}^{M} A(m)X(s+l-m) + U(s+l) \tag{4.8}$$

となる。総和区間を s 時点で区切ると

$$
\begin{aligned}
X(s+l) &= \sum_{m=l+1}^{M} A(m)\,X(s+l-m) \\
&\quad + \sum_{m=1}^{l} A(m)\,X(s+l-m)+U(s+l) \\
&= \sum_{i=1}^{M-l} A(l+i)\,X(s-i) \\
&\quad + \sum_{j=0}^{l} A(l-j)\,X(s+j)+U(s+l) \qquad (4.9)
\end{aligned}
$$

となり，右辺第1項は，$X(s+l)$ の推定に必要な $X(s-1)$, $X(s-2)$, … 等 $s-1$ 時点までの観測値に依存する部分を示している。そこで新たに

$$
Z_l(s) = \sum_{i=1}^{M-l} A(l+i)\,X(s-i) \qquad (l=0,1,\cdots,M-1) \qquad (4.10)
$$

とすると，$Z_0(s)$ は時点 $s-1$ における $X(s)$ の予測値を与えることになる。また

$$
\begin{aligned}
Z_l(s) &= \sum_{j=1}^{M-l-1} A(l+1+j)\,X(s-1-j)+A(l+1)\,X(s-1) \\
&= Z_{l+1}(s-1)+A(l+1)\,X(s-1) \qquad (l=1,2,\cdots,M-2) \\
& \qquad (4.11) \\
Z_{M-1}(s) &= A(M)\,X(s-1)
\end{aligned}
$$

となるから，新たな観測値 $X(s)$ が得られた時点を考えて

$$
Z_0(s) = X(s) \qquad (4.12)
$$

と定義し直すと

$$
\begin{aligned}
Z_0(s) &= Z_1(s-1)+A(1)Z_0(s-1)+U(s) \\
Z_l(s) &= Z_{l+1}(s-1)+A(l+1)\,Z_0(s-l) \qquad (l=1,2,\cdots,M-2) \\
& \qquad (4.13) \\
Z_{M-1}(s) &= A(M)\,Z_0(s-1)
\end{aligned}
$$

が成立する。ここで，これまでの状態変数 $Z(s)$ に変えて

$$
\dot{Z}(s) = \begin{bmatrix} Z_0(s) \\ Z_1(s) \\ \vdots \\ Z_{M-1}(s) \end{bmatrix} \qquad (4.14)
$$

によって新たな状態変数 $\dot{Z}(s)$ を定義し直すと，(4.6)式，(4.7)式はこの $\dot{Z}(s)$ を用いて

$$\begin{aligned} \dot{Z}(s) &= \Phi_0 \dot{Z}(s-1) + U_0(s) \\ X(s) &= H_0 \dot{Z}(s) \end{aligned} \tag{4.15}$$

のような状態空間表現が得られる。ただし

$$\Phi_0 = \begin{bmatrix} A(1) & I & 0 \cdots\cdots 0 \\ A(2) & 0 & I \cdots\cdots 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \ \ \ddots \ \ \vdots \\ A(M-1) & 0 & 0 \cdots\cdots I \\ A(M) & 0 & 0 \cdots\cdots 0 \end{bmatrix}, \quad U_0(s) = \begin{bmatrix} U(s) \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{4.16}$$

$$H_0 = [I \ 0 \cdots\cdots 0 \ 0]$$

である。

状態を上のように表現することによって，時点 $s-1$ における $Z(s)$ の予測値として，(4.15)式において $U_0(s)=0$ として得られる $\Phi_0 \dot{Z}(s-1)$ をそのまま用いることができ，したがって，$X(s-1)$ が観測された時点で $X(s)=Z_0(s)$ の予測値は(4.13)式の第1式から

$$\hat{X}(s) = Z_1(s-1) + A(1)\,X(s-1) \tag{4.17}$$

として極めて簡単な操作で与えられることがわかる。このように，(4.15)(4.16)式は予測あるいは制御という観点からも効率的な表現となっている。

ところで，本稿のように制御を課題とする場合，普通我々が扱うデータ(観測値)は次の2つの部分から成っていると考えることができる。ひとつは我々が直接動かすことのできない量，いわばシステムの出力であり，他のひとつは我々がシステムを安定させるために自由に操作できる量，システムへの入力である。前者を被制御変数 $x(s)$ とし，後者を操作変数 $y(s)$ とすると，観測値は

$$X(s) = \begin{array}{c} p\updownarrow \\ q\updownarrow \end{array} \overset{\overset{1}{\longleftrightarrow}}{\begin{bmatrix} x(s) \\ y(s) \end{bmatrix}} \tag{4.18}$$

のようなベクトルとして表現できる。ここで $x(s)$，$y(s)$ はそれぞれの変数の

数に応じたベクトルである。操作変数を予測するということは，その性格から言って無意味なので，(4.14)式において，被制御変数の予測に関係してくるのは $Z_i(s)$ のうち，被制御変数の状態を表す部分だけとなる。このベクトルを $z_{i,s}$ と表すと

$$Z_0(s) = \begin{array}{c} p\updownarrow \\ \end{array}\begin{bmatrix} z_{i,s} \\ * \end{bmatrix} \qquad (i = 0, 1, 2, \cdots, M-1) \tag{4.19}$$

となる。ここで＊は予測にとって不要となった部分を表す。ただし

$$Z_0(s) = \begin{array}{c} p\updownarrow \\ \end{array}\begin{bmatrix} x(s) \\ y(s) \end{bmatrix} \tag{4.20}$$

であるから

$$z_{0,s} = x(s) \tag{4.21}$$

となる。

$$\dot{Z}_s = \begin{array}{c} p\updownarrow \\ p\updownarrow \\ \\ p\updownarrow \end{array}\begin{bmatrix} z_{0,s} \\ z_{1,s} \\ \vdots \\ z_{M-1,s} \end{bmatrix} \tag{4.22}$$

と定義すると，これによって(4.15)，(4.16)式は，

$$\begin{aligned} \dot{Z}_s &= \Phi\dot{Z}_{s-1} + \Gamma\ Y_{s-1} + W_s \\ x(s) &= H\dot{Z}_s \end{aligned} \tag{4.23}$$

ただし

$$\Phi = \begin{array}{c} \\ p\updownarrow \\ \\ \\ \\ \\ \end{array}\begin{array}{c} \overset{p}{\longleftrightarrow} \\ \begin{bmatrix} a_1 & I & 0 \cdots\cdots 0 \\ a_2 & 0 & I \cdots\cdots 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \quad \ddots \quad \vdots \\ a_{M-1} & 0 & 0 \cdots\cdots I \\ a_M & 0 & 0 \cdots\cdots 0 \end{bmatrix} \end{array}, \quad H = p\updownarrow[\overset{p}{\overleftrightarrow{I}}\ 0 \cdots 0\ 0] \tag{4.24}$$

$$\Gamma = \begin{array}{c} \\ p\updownarrow \\ \\ \\ \\ \\ \end{array}\begin{array}{c} \overset{q}{\longleftrightarrow} \\ \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_{M-1} \\ b_M \end{bmatrix} \end{array}, \quad W_s = \begin{array}{c} \\ p\updownarrow \\ \\ \\ \\ \\ \end{array}\begin{array}{c} \overset{1}{\longleftrightarrow} \\ \begin{bmatrix} u(s) \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{array} \tag{4.24}$$

と変形するこことができる。ただし $a_m(m=1, 2, \cdots, M)$, は $p\times p$ の行列, b_m $(m=1, 2, \cdots, M)$ は $p\times q$ の行列, $u(s)$ は p 次元の列ベクトル, I, 0 はそれぞれ適当な次元の行列あるいはベクトルである。また, a_m, b_m, $u(s)$ は (4.16) 式より

$$A(m) = \begin{array}{c} \\ p\updownarrow \\ q\updownarrow \end{array}\begin{array}{c} \overset{p}{\leftrightarrow}\quad\overset{q}{\leftrightarrow} \\ \begin{bmatrix} a_m & b_m \\ * & * \end{bmatrix} \end{array}, \quad U(s) = \begin{array}{c} \\ p\updownarrow \\ q\updownarrow \end{array}\begin{array}{c} \overset{1}{\leftrightarrow} \\ \begin{bmatrix} u(s) \\ * \end{bmatrix} \end{array} \tag{4.25}$$

として求めることができる。

以上から，我々が実際に制御モデルの設計に利用するのは，自己回帰モデルの係数行列 $A(m)$ のうち，被制御変数の数に応じた部分だけということがわかる。これは先述の被制御変数と操作変数の性格の相違から言っても極めて当然のことである。

ところで，(4.23) 式による制御モデルは，操作入力 Y_s の与え方次第で，システムを安定させることも，不安定にすることも可能なモデルである。そこで次に，システムを安定させるという目的に沿って入力を最適化する問題，最適操作入力を求め最適制御モデルを作るという問題が生じる。

最適制御問題を解決するためには，制御状況を表すための評価基準が新たに必要となる。本稿の課題は牛肉価格の安定の可能性を検討するということであり，安定という言葉を，ある一定の値（本稿においては傾向値）からの乖離をできるだけ少なくするという意味で用いることにしていた。これをシステムの安定ということについてもそのまま適用すると，制御目標を，ある期間内でのシステムの状態を完全静止状態に近づけること，即ち目標とする傾向値に収束させることとし，安定の度合をその目標値からの偏差の状態によって評価するのが適当と考えられる。

以上のような考えから評価基準を次のように定義する。

$$J_I = E\left[\sum_{s=1}^{I}\left\{Z_s'Q(s)\,Z_s + Y_{s-1}'R(s)\,Y_{s-1}\right\}\right] \tag{4.26}$$

ここで E は期待値を，I は操作期間を，Y_s は制御入力を，Z_s は状態関数を表す。$Q(s)$, $R(s)$ は，(4.25) 式における次元を用いて $Mp\times Mp$, $q\times q$ の非負行列であり，特に $R(s)$ は正値行列である。

(4.26)式右辺｛　｝中の第1項は，システムの完全静止状態からの偏差を，第2項は操作変数の操作量に基づく損失，即ち，操作による変動の増分を表す。この J_I を最小にするような Y_s の系列が，I 期間を考えた上での最適操作入力である。

操作入力は，前期のシステムの出力，即ち状態によって変化させ得る量なので，これを状態 Z_s の線形変換として

$$Y_{I-i} = G_i Z_{I-i} \qquad (i=1, 2, \cdots\cdots I) \tag{4.27}$$

のように表現できるものとする。I を実用上十分大きく取ると G_I はほとんど一定の値に収束すると考えられるので，それを G とおくことにすると(4.27)式は

$$Y_s = GZ_s \tag{4.28}$$

のように書き直すことができる。G は現時点から I 時点先までの期間のシステムの動きを考慮して得られる最適操作入力 Y_s を与えるフィードバックゲインである。

具体的な制御モデルの設計においては，R の値の決定については，操作変数の変動幅を現実的に許容される範囲内に抑えるという観点から，また Q については，被制御変数の変動幅をできるだけ小さく抑えるという観点から，種々の値を R, Q それぞれに与え，その値に基づいて得られる制御モデルを利用してシミュレーションを行ない，その結果を比較検討し，更に調整を繰り返しながら，最適制御モデルに接近して行くことになる。

5.　最適制御モデルによるシミュレーション

今回のシミュレーションの目的は，2節のシステム構造の分析における結論，即ち，現行安定制度はうまく機能していないという結論を前提として，これが輸入量の調節によって価格の安定を図るという制度の本来的な欠陥によるものなのか，あるいは，制度自体に欠陥はないが，運用面のまずさで十分に機能していないのかという疑問について検討することにある。

現行制度の基本である輸入牛肉の数量調節による価格安定という点を変えずに，即ち，牛肉輸入量を操作変数として最適制御モデルを設計し，それに

よってシミュレーションを行なうことによって上の疑問に対する解答が与えられることになると考える。

まず，モデル評価の基準 Q, R に種々の値を与え，それぞれについて最適フィードバックゲインを計算し，5組の最適制御モデル[1]を作成した。その際 Q, R の意味から，Q については被制御変数の分散をできるだけ小さくするように，R については，状態の変化に対応する操作量の大小，つまり操作変数の分散をいくつかのケースに分けられるように調整した。またホワイトノイズ項 $W(s)$ の実現値としては，自己回帰モデルの $u(s)$ を利用して発生させた乱数を用いた。制御期間としては，期間をあまり長く取ることによって誤差が累積するのを避けるためもあって12カ月とした。

この制御モデルを利用してシミュレーションを行ない，得られた12カ月分の被制御変数・操作変数の分散と，現行制度下での各変数の分散の実績値とを比較した結果を表-2に示す。比較対象としている実績値は，牛肉が指定食肉となり，現行制度が完全に形を整えた1975年からの各変数の定常化系列の分散である。

ケース1は操作変数である牛肉輸入量の分散を，実績値より1/3程度減らした場合であり，ケース2は1/4，ケース3は1/5と操作変数の分散を減らす割合を徐々に小さくした場合である。ケース4は実績値とほぼ同様の分散で操作した場合，ケース5はより効果を高めるために，操作変数の分散を実績値より1/2程度増やした場合である[2]。

表を見ると，いずれのケースでも被制御変数の分散は実績値よりもかなり小さくなっており，現行牛肉価格安定制度の基本である輸入数量の調節という方法で，国内牛肉価格あるいは食肉経済システムの安定が可能であること，しかもかなりの効率で可能であることを示している。この結果は当初の予想(牛肉輸入量から牛肉価格へのパワー寄与率が小さかったことから，これほど

---

1) 最適制御モデルが5組もあるというのは奇異に思われるかも知れないが，ここでは最適という言葉は，評価基準に対応したものとして用いられており，5つの評価基準それぞれについて設計された最適制御モデルという意味である。

2) これは牛肉輸入量と食肉価格との間に負のフィードバックの関係，即ち，輸入量が増えれば価格は下がるという関係が仮定されていることを示している。また分散によって制御の可否を判断するというのは，本稿の計算に用いたデータが定常化系列であり，安定＝傾向値への収束と考えていることに対応している。

表—2　シミュレーションによる各変数の分散

被制御変数の分散 (1975. 1～'78. 8 実績)	シミュレーションによる分散					実績との比較 CASE 4/ 実績値
	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5	
BFRP　0.03844	0.00020	▼ 0.00016	△ 0.00021	△ 0.00022	△ 0.00024	0.006
BFP　0.00631	0.00204	▼ 0.00087	△ 0.00206	△ 0.00211	△ 0.00217	0.334
PKP　0.09200	0.00021	△ 0.00022	▼ 0.00020	0.00020	▼ 0.00019	0.002
BRP　0.00228	0.00153	▼ 0.00149	△ 0.00152	0.00152	△ 0.00153	0.667
RMKP　0.00076	0.00015	0.00015	0.00015	△ 0.00016	△ 0.00017	0.211
FDP　0.00129	0.00011	△ 0.00017	▼ 0.00011	△ 0.00012	△ 0.00013	0.093
操作変数の分散 (1975. 1～'78. 8 実績)	対実績値増減率 ▼; マイナス, △; プラス)					
	▼ 33%	▼ 25%	▼ 20%	—	△ 50%	
BF 4　0.17045	0.11514	0.12961	0.14086	0.17091	0.25678	1.003

(注) 被制御変数のシミュレーションによる分散の欄の ▲ は左の CASE における分散より減少したことを, △ は増加したことを示す。

うまく安定するとは考えなかった）からみてもかなりの驚きであった。

制御がこれほど完全に成功した原因は種々考えられるが，システムとしてモデルを組み，各要素間にフィードバックを明示的に導入することによって，それぞれのフィードバックループを通じて安定効果が累積したことが最大の原因と考えられる。さらに，操作入力がシステムを安定させるための最適ゲインを持つように与えられていることも大きな原因のひとつであろう。これは，ひっくり返して考えると，現行制度が最適入力による操作からはかけ離れたところで運用されていることを示すものとも受け取ることができる。また注目すべきことは，ケース3，ケース4，……と牛肉輸入量の分散を大きくするにつれて，システムがより不安定な状態に移行することである。これは，操作変数の変動がある大きさを越えると，安定効果より攪乱効果の方が大きくなることを示すものであり，この結果は，価格変動に応じて輸入数量を半減したり，倍増したりする等の過敏な対応が，価格安定に対して悪い影響しか与え得ないことを示すものと考えられる。即ち，輸入牛肉は既に我国の食肉需給において安定した地位を得ており，輸入数量の急変は市場を混乱させるだけだということを示唆するものと思われる。

以上のシミュレーション結果から，現行制度が運用次第で価格安定に対して有効に機能し得ること，現行制度による価格安定，食肉経済システムの安定が十分可能であるということを明らかにした。

6. おわりに

本稿の分析を通じて最後に言えることは，現在の牛肉輸入制度は理論的に食肉経済システムを安定化させる可能性を十分持ちながら，先にも指摘したように輸入枠の決定などが需給の動向を十分反映していなかったり，適期に適量が輸入されていないなどの運用面の不備によってその機能を十分に発揮していないということである。

現在のような複雑な手続きを要する輸入法では，価格変動に対して適切な処置を取り得ないであろうし，在庫量を増大しようにも，国内産牛肉に最も近いと思われ，それ故国内価格に対する影響力が期待できるチルド肉の保存期間が1カ月間でしかないことを考えると，在庫量の増加は売り渡し量の増加につながり，それは牛肉輸入量の変動，分散を大きくしてシステムをより

不安定にする恐れにもつながる可能性がある。更に輸入牛肉の品質を考慮することによって他要素への寄与度も変化するであろうし，今回は考慮に入れ得なかった流通面での改善によってシステム構造の変化が考えられる。

今回の分析においては，ブラックボックスとして一切検討を加えなかった政策＝輸入数量決定サブシスラムについても，輸入数量・時期等の需給を適切に反映した決定，輸入枠の配分・発注・売り渡し等の措置の迅速化，価格変動に対するきめ細かな対応など，運用面での改善，最適操作への接近が考慮される必要があるであろうと言えるが，そのためには今回の結論を導いた最適フィードバックゲインの中身の検討，経済学的な解釈が必要となることは言うまでもない。それを通じて真の意味においての制御モデル，経済システムを対象とした制御モデルをつくることができると考えられる。今後の課題としたい。

（付　　記）

本稿は昭和55年度科研費奨励研究「食肉経済の変動制御のシステム論的研究―情報理論による経済サイバネティクス的分析」（代表出村克彦，（帯広畜産大学））において筆者が担当した部分を取りまとめたものである。

計算には赤池〔9〕所収の TIMSAC を利用し，北海道大学大型計算機センター HITAC-M-200＝M-180 によって計算を行なった。

参考文献リスト

〔1〕 松田友義，「食肉経済システムの時系列解析―牛肉を中心として―」『農経論叢』（北大），第36集，1980. 3，pp. 59-82。

〔2〕 K. E. ボールディング，公文俊平訳『経済学を超えて』，竹内書店，1970，p. 66。

〔3〕 松田友義，「牛肉経済における周期変動のスペクトル分析」『農経論叢』，第35集，1979，3，pp. 14-32。

〔4〕 同上，「牛肉価格変動の分析―ビーフ・サイクル短縮論をめぐって―」『畜産の研究』，第33巻第2号，1979. 2，pp. 17-22。

〔5〕 食肉問題研究会（編），『わかりやすい牛肉の価格安定事業』，食肉産業新聞社，1976。

〔6〕 中嶋千尋，「牛肉に関する畜産振興事業団制度の政策目標と政策手段」『日本農業再編成に関する政策的研究（II）―政策目標と政策手段―』，京都大学農業政策研究会，1977. 3，pp. 13-24。

〔7〕 岸本裕一，「食肉経済の SD モデルによる牛肉輸入調整政策のシミュレーション

—M 190 DYNAMO によるー」『京都大学大型計算機センター広報』Vol. 11, No. 3, 1978. 8, pp. 175-196。
〔8〕 榊原英資，薬師寺泰蔵『社会科学における理論と現実。実証分析における一つの試論』，日本経済新聞社，1981. 6。
〔9〕 赤池弘次，中川東一郎『ダイナミックシステムの統計的解析と制御。サイエンスライブラリー情報電算機=9』，サイエンス社，1972. 4。