

《論文》

りんご生産農家の農薬使用の推移に関する一考察[†]横浜市立大学国際総合科学部 東田 啓作[‡]

1. 序

果実、特に生鮮果実に対する需要が減少トレンドにあることが指摘されている。また、1980年代後半から1990年代前半にかけて、りんご・オレンジや果汁の輸入が自由化された。一方で、1990年代以降、消費者の健康リスクに対する関心が高まってきた。農産物需要においては、農薬や化学肥料の使用に関する安全性という観点から、特別栽培農産物や有機農産物に対する需要が増加（あるいは支払い意思額が増加）してきた。

これに対して、産地では、産地ごとのブランドを作ったり、「安全」な農産物を生産したりするなどして、価格低下の影響を受けにくい果実の生産に取り組んできている。農薬使用に関する情報については、1992年に有機農産物と特別栽培農産物に関するガイドラインが農林水産省によって発表されて以来、市場を通じた生産情報の伝達が少しずつ正確に行われるようになってきている。農薬に関する技術については、各都道府県の農業試験場の研究も補完的な役割を担ってきた。

本稿は、りんご栽培に焦点を当てて、りんご農家の農薬散布の状況を収集可能な資料をもとに概観すること、またその変化の要因について、過去20年間の農家にとっての与件の変化を考慮に入れつつ、経済理論モデルを提示することを目的とする。

りんごに焦点を当てる理由は以下のとおりである。第1に、りんごの生産には農薬の使用が不可欠である一方、過去20年の間に、果汁の輸入自由化、および生鮮果実の輸入自由化など、段階を追って競争にさらされるようになってきた。1995年にいったん輸入が増加した後はほとんど輸入が行われてこなかったが、これは自由化直後に輸入されてきたりんごの食味が日本の消費者の嗜好に合わなかったためといわれている。しかし、病害虫に関する輸入禁止措置が緩和され、アメリカやニュージーランドの生産農家が食味の改良を行ってきたため、今後は少しずつ輸入が増加していく可能性が高い。価格の低下の要因には、生鮮果実に対する

需要の減少も考えられるが、りんごについては価格低下の背後にある状況について、さまざまなケースが存在している。このため、農家の行動の変化に影響を与えた要因を分析しやすいと考えられる。

第2に、りんごの生産は、比較的少数の都道府県に集中している。特に、青森と長野県の結果樹面積は、他の都道府県のそれらに比較して格段に大きい。このため、青森県ではりんごの生産活動が農業にとってきわめて重要な位置を占めており、データの整備状況がよく、資料が豊富に存在している。

本稿の構成は以下のとおりである。第2節において、青森県の防除暦をもとに病害虫防除の一年を概観する。第3節においては、資料をもとにして、農薬散布の過去20年にわたる推移を観察する。第4節では、農薬散布の変化の要因の一つを、理論を用いて考察する。

2. 病害虫対策と防除暦（青森県のケース）

りんごの薬剤散布は4月中旬に始まる。平成17年の青森県りんご病害虫防除暦によると、年間11回の散布を行う。この回数は、殺菌剤の散布を目安とした回数であり、病害を発生させないために必要な最大の散布回数と考えてよい。したがって、これより少ない回数で、防除を行っている農家も多数存在していると考えられる。以下では、病害（殺菌剤）に焦点を絞り、防除暦の概略を説明する。

4月の中旬に1回目の散布を行う。主に腐らん病、およびモニリア病対策として、ベフラン液剤が基準薬剤として選択されている。防除暦は「ふじ」を基準に作られているが、「ふじ」では芽出しの時期にあたり、8-9割が発芽している状態である。平年の平均気温は、8.4度とまだ低い。

4月の下旬、ふじの芽だし10日後を目安に、第2回の散布が行われる。ここでも主な対象は、モニリア病と腐らん病であり、スパットサイド水和剤、またはベフラン液剤、ユニックス水和剤が基準薬剤である。

[†] 本稿は、福島大学学術振興基金奨励的研究経費の助成を受けた研究の成果の一つである。また、本研究、および関連研究に対して、旭硝子財団、および日本学術振興会（科学研究費「若手B」）より研究助成をしていただいた。この場を借りて、厚くお礼を申し上げる。

[‡] Phone&Fax : 045-787-2119, e-mail : keisaku@yokohama-cu.ac.jp

5月に入り、ふじの開花直前になると、E B I単剤（基準薬剤）を散布する。腐らん病とともに、りんごにとって重要な黒星病の防除対策が本格的に開始される。他に、うどん粉病も主な防除の対象に入ってくる。5月中、下旬のふじの落花直後に、E B I混合剤（基準薬剤）を再度散布する。やはり、黒星病、腐らん病、うどん粉病、黒点病といった病害が主な防除の対象となる。

6月上旬になると、斑点落葉病も主な防除の対象となってくる。ふじの落花15日後ごろに、5回目の散布が行われる。基準薬剤としてはひきつづきE B I混合剤が用いられるが、同時に炭酸カルシウム水和剤が散布される。これは、農薬によってりんごが「肌荒れ」するのを防ぐためである。特に、果実の肥大期にはりんごの「皮膚」もまだ弱いため、いかに早くりんごの表面を乾燥させるかが重要となる。このために、炭酸カルシウムが用いられる。6月中旬の6回目の散布では、有機銅剤、ジラム・チラム剤などが基準薬剤として選択されている。同様の散布が、7月上旬と中旬に行われる7回目、および8回目の散布においても行われる。7月と中旬と下旬においては、褐斑病にも注意をはらう必要が出てくる。

9回目の防除は7月末に行われる。対象となる主な病害は斑点落葉病と褐斑病である。用いられる基準薬剤は、アリエッティC水和剤、ダイパワー水和剤、ベフラン液剤などである。10回目、および11回目の防除は、8月に行われる。11回目の防除の基準薬剤は、ストロビードライフロアブル、またはフリントフロアブルである。¹

先に述べたように、りんご病害虫防除暦は、主に病害に対する散布を基準に作成されている。防除暦は大正7年（西暦1918年）から作成されている。大正7年当時は、まだ有機殺菌剤はなく使用できる薬剤も極めて限られていたため、防除暦における散布回数は5回であった。第2次世界大戦後、国外から効果の高い有機殺菌剤が導入されるにつれて、散布回数は増加していく。最も多い回数は1968年の16回となっている。

その後、果実全体で見ると需要が減少したことや輸入自由化が進んだことなどから、価格が低下してきた。このため、生産コストを低下させる必要から、効果の持続性の高い農薬が開発された。また、1971年の農薬取締法改正にみられるように、消費者の健康や安全への意識が高まっていった。このため、1973年から1980

年まで15回であった散布回数は、その後一貫して減少を続けてきている。特に、回数の多かった時期は、もっとも頻繁に散布される時期の散布間隔が10日であった

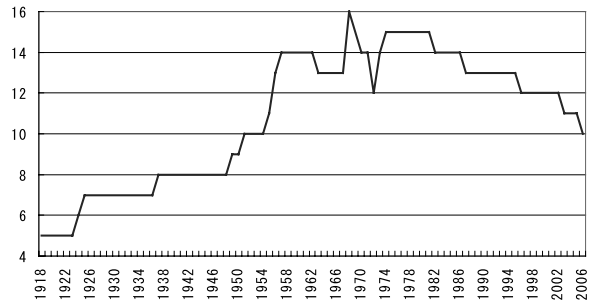


図1. 青森県りんご防除暦散布回数の推移

出所：青森県りんご試験場所蔵資料

のに対し、現在では15日となっている。

3. 農薬使用量の推移

防除暦に示されている基準薬剤は、あくまで基準薬剤である。各農家が、各散布回においてこのとおりの薬剤を使用しているとは限らないし、複数の基準薬剤が選択されている場合には、どれを選択したかに関しては、実際に聞き取り調査をする以外に方法はない。また、農家によっては工夫して、散布回数を防除暦の回数よりも減らしているところも多く存在していると考えられる。中には、6回や7回の散布で防除に成功している例もある。さらに、りんごの病害に効果のある農薬で、他の果実や野菜、穀物の病害に効果を表す農薬もある。したがって、りんご向けのみ農薬使用量を推定することは、かなり難しい。ここでは、利用可能なデータを用いて農薬使用量の推移を見ていく。

3. 1 果実向け農薬出荷量の推移

果実全体向けの農薬出荷量については、数量と金額についてのデータを、全日本農薬工業会の出荷実績表から得ることができる。このデータは、殺虫剤、殺菌剤、殺虫殺菌剤、除草剤の別に存在している。ただし、殺虫殺菌剤は主に稲に使用されるものであるため、ここでは、それ以外の3種類について見てみることにする。

図1から、出荷量は、殺虫剤と殺菌剤については、1985年以降明らかな減少傾向にあることが読み取れる。これには、農薬の需要サイドから3つの要因があると考えられる。第1に、防除暦における農薬の散布回数が減少したことである。これは、最大散布回数が減少したことを意味し、一定の比率の農家の農薬散布回数

¹ フロアブルとは剤型の一つで、「水および有機溶剤に溶けにくい固体原体を湿式微粉碎して水に懸濁分散させたスラリー状の製剤で、懸濁製剤あるいはゾル剤とも呼ばれる。(本山 (2001))」。

に影響を与えたと考えられる。第2に、第1の点と関連しているが、農薬の効力の持続期間が長くなったことである。例えば、以前は10日に1回散布する必要があった農薬が、現在では15日に1回でよくなっていることが挙げられる。第3に、以前から農薬散布回数が防除暦の回数よりも少なかった農家で、さらに散布回数を減少させた可能性があることである。

一方、農薬の出荷金額については、出荷数量ほどには顕著な減少傾向は見られない。これは、先ほども述べたように長期間効力が持続する新しい農薬の登場などにより、単価が上昇したことが考えられる。

3. 2 散布面積の推移

農薬の散布面積については、各年度の農薬要覧から得ることができる。この資料には、作物別×病害虫別×都道府県別に、病害虫発生面積、実防除面積、延防除面積が掲載されている。たとえば、りんごであれば、1986年以降は、モニリア病、黒星病を始めとする6種類の病害、ナシヒメシンクイを始めとする6種類の害虫について、上記のデータが掲載されている。

表1は、5種類の病害についての、1986年度から2005年度までの青森県における病害発生面積、および防除面積である。²まず、病害虫の発生と散布との関係につ

いてみる。実防除面積については、一部の例外を除いておよそ青森県のりんごの作付面積を表していると考えてよい。したがって、病害虫発生の影響を受けている可能性のある延防除面積と発生面積との相関係数をみみると、表2のとおりであった。これらの数値より、病害虫発生面積と延防除面積との間には、相関がみられないと考えてよい。これは、「殺菌剤は必要に応じて散布するというよりは、比較的決まった時期に散布する」という事実と合致する。

農家の行動、あるいは農薬散布の技術の観点から、過去の病害虫発生に影響を受ける可能性もあるため、 $t-1$ 期の病害虫発生面積と t 期の延防除面積の相関も見てみた。しかし、両者の間に明確な相関は見られない。

1996年以降の延防除面積にトレンドがあるかどうかを見るために、1996年から2005年の期間と延防除面積に順位をつけ、両者の間にどれだけの相関関係があるかを順位相関係数によって見てみると、すべての病害について延防除面積の減少トレンドを示すかなり強い相関が見られることが明らかとなる。一方、1986年から1995年については、相関はまったく見られない。逆に、増加トレンドを示す病害もある。このことより、1990年代半ばに何らかの転換点があったのではないかと

りんごの病害防除 (単位: ha)

年度	モニリア病			斑点落葉病			黒星病			赤星病			腐らん病		
	発生	実防除	延防除	発生	実防除	延防除	発生	実防除	延防除	発生	実防除	延防除	発生	実防除	延防除
1986	6020	24068	28345	16929	26096	168863	3208	26096	103465	1150	23549	45930	7211	26093	50964
1987	1738	22834	26690	14679	25979	204214	7441	25979	116236	4536	24841	48879	7817	25976	38964
1988	454	25973	43224	13402	25973	203040	9963	25973	109215	1237	25973	77403	9340	25973	28158
1989	992	55881	42152	13298	25881	194710	14914	25881	118679	605	25881	73815	9004	25881	45565
1990	5022	25745	41192	9909	25745	193687	2293	25745	118055	0	25745	73427	8786	25745	45325
1991	4534	24328	44807	9747	25548	196785	4093	25548	135244	7	25548	73261	7045	25548	46832
1992	759	25208	42874	16353	25208	195506	726	25208	118559	2612	25208	75624	5562	25208	46516
1993	9068	25073	50146	11977	25073	175511	1808	25073	100292	11	25073	75219	5097	25073	37610
1994	5678	24899	52199	13016	24899	191281	23907	24899	141997	1345	24899	74697	5096	21982	43964
1995	1246	24899	41760	8288	24899	174293	2826	24899	109556	442	24899	74697	4597	19919	39838
1996	666	24370	71829	11362	24370	242017	1827	24370	266340	7	24370	96653	4139	24370	71086
1997	581	24538	71801	16954	24538	220938	2849	24538	243954	3	24538	73596	3289	24538	71515
1998	482	24100	72300	4819	24100	216900	1325	24100	241000	0	24100	72300	3675	24100	72300
1999	480	24000	54216	11134	24000	177120	4855	24000	101520	10	24000	71280	3496	24000	64800
2000	212	23700	48256	13531	23700	213227	2041	23700	130694	109	23700	71093	3814	23700	62215
2001	1953	23474	54514	6670	23474	206787	647	23474	147404	8	23474	41023	3793	23474	42742
2002	54	23387	56435	7816	23387	181325	1476	23387	150390	13	23387	54460	3485	23387	29514
2003	5	23242	55707	11663	23242	201565	1260	23242	149873	5	23242	54108	3993	23242	29312
2004	835	23117	54661	10981	23117	151174	1150	23117	117671	2	23117	27572	4149	23117	23117
2005	2703	22860	54682	5120	22860	162102	1875	22860	86066	2	22860	63832	3550	22982	22982

表1. りんごの病害防除の推移

2 うどんこ病については、1991年以降ほとんど発生が見られないことから、とりあげていない。

モニリア	発生 (t)	延防除 (t)
発生 (t)	1	
延防除 (t)	-0.33901	1
斑点落葉	発生 (t)	延防除 (t)
発生 (t)	1	
延防除 (t)	0.142223	1
黒星	発生 (t)	延防除 (t)
発生 (t)	1	
延防除 (t)	-0.14033	1
赤星	発生 (t)	延防除 (t)
発生 (t)	1	
延防除 (t)	-0.11494	1
腐らん	発生 (t)	延防除 (t)
発生 (t)	1	
延防除 (t)	-0.21678	1

表2. 病害発生面積と延防除面積の相関

モニリア	発生(t-1)	延防除 (t)
発生(t-1)	1	
延防除	-0.43972	1
斑点落葉	発生(t-1)	延防除 (t)
発生(t-1)	1	
延防除 (t)	0.072952	1
黒星	発生(t-1)	延防除 (t)
発生(t-1)	1	
延防除 (t)	-0.22204	1
赤星	発生(t-1)	延防除 (t)
発生(t-1)	1	
延防除 (t)	0.244074	1
腐らん	発生(t-1)	延防除 (t)
発生(t-1)	1	
延防除 (t)	-0.1681	1

表3. 病害発生面積 (t-1期) と延防除面積 (t期) の相関

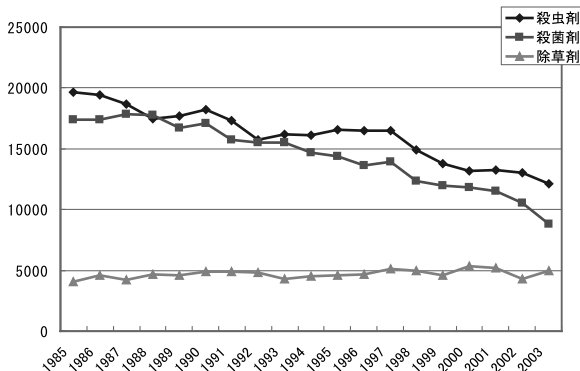


図2. 果樹向け農薬出荷量の推移 (単位: トン (kl))

出所: 農薬工業会出荷実績表

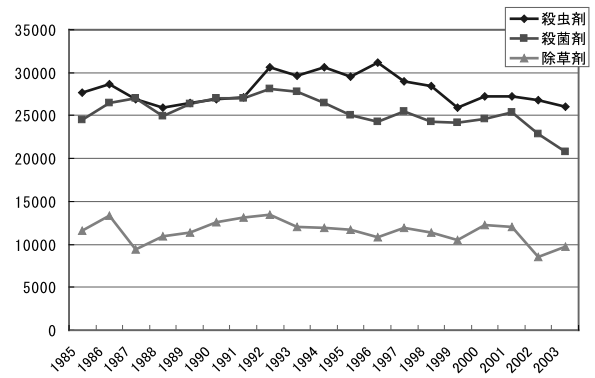


図3. 果樹向け農薬出荷金額の推移 (単位: 円)

出所: 農薬工業会出荷実績表

と考えられる。要因としては、1992年に農林水産省によって作成された有機農産物および特別栽培農産物に関するガイドライン、およびそれに影響を与えた一般消費者の安全な食品への意識の高まりが、一つの可能性として考えられる。

4. 理論モデル

貿易の増加が直接りんご農家のミクロ的行動に影響を与えた可能性は低いといわれている。しかし、他の果実もふくめた、一連の生鮮果実、および果汁の輸入自由化のプロセスに伴って、果実の価格が低下、あるいは競争が激化してきたことは事実である。もちろん、生鮮果実そのものへの需要が減少したことも価格低下の原因としては考えられる。この価格低下を通して、貿易が間接的に農家のミクロ的行動に影響を与えてきた可能性は十分考えられる。

本節においては、単純な主体均衡理論モデルを用いて価格低下と農家の行動の関係を考察する。³農家の農外雇用機会が乏しい、つまり家族労働のみによって生産活動が行われる場合については、明石 (1996) が、農産物価格低下によって農家の農薬投入が増加する条件を導出している。⁴そこでは、農家の効用関数や生産関数の代替の弾力性の値が、農薬投入を増やすかどうかの決定要因となっている。農外雇用機会が乏しい可能性は否定できないものの、農繁期に、多くのりんご農家は、労働を雇い入れている。また、兼業農家も存在している。したがって、多くの農家は地域の労働市場に影響を受けていると考えてよい。このようなケースにおいては、利潤最大化を目的とする企業と同様の行動をとるため、農産物の価格が低下した場合には、生産量を減らす選択を行う。したがって、生産関数が

3 主体均衡理論モデルによる農家行動の分析については、黒田 (1980)、中嶋 (1981)、堀内 (1981) などを参照されたい。

4 明石 (1996) では、一般的に経常財としている。本稿の文脈においては、農薬と考えられる。

ホモセティックである場合には、労働と農薬の投入量がともに減少するという結論が得られる。本節においては、まずこの点を確認することからはじめる。

一方、1990年代を通じて、消費者の安全に対する意識は次第に高まってきた。1992年に、有機農産物に関するガイドラインが制定され、その後改正を重ねてきている。前節において述べたとおり、特別栽培農産物の認証制度が整備されたのも1990年代である。これによって、市場において、消費者の支払い意思額が農薬使用量に依存して異なるようになってきた。生産方法が農産物の価格に影響を与えるようになったのである。本節後半においては、このことをモデルに導入して、農家が農外雇用機会を持っており、外部からの労働雇い入れを行っている状況においても、農産物価格の低下が農薬使用量を増加させる可能性があることを示すことにする。前節において確認されたように、同じように農産物価格が低下したとしても、農薬使用量が減少トレンドを示す次期と示さない時期とがあるが、農外雇用機会がない場合の明石(1996)の条件とともに、可能性のある経済的な要因を提示する。

個々の農家は、りんごの生産から得られる利潤を最大化するように行動するものとする。生産量は、土地、労働、農薬(あるいは肥料)、農業機械の投入量によって決定されるが、ここでは土地と農業機械は一定であると仮定し、労働と農薬の量を意思決定する状況を考える。生産関数は、

$$Y = f[L, V; K, T], \quad f_i > 0, \quad f_{ii} < 0, \quad f_{ij} > 0, \\ i, j = L, V, \quad i \neq j \quad (1)$$

であらわされる。ここで、 Y, L, V, K, T は、それぞれ労働、農薬、資本、土地の投入量を表している。りんごの価格を p 、また労働と農薬の価格をそれぞれ w, r とすると、りんご農家の利潤は、

$$\pi = pf[L, V] - wL - rV \quad (2)$$

と表される。(2)式より、利潤最大化の1階の条件は、

$$pf_L - w = 0, \quad pf_V - r = 0 \quad (3)$$

である。これらの1階の条件より、価格低下の要素投入量に与える影響は、以下のように表される。

$$\begin{pmatrix} pf_{LL} & pf_{LV} \\ pf_{LV} & pf_{VV} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dL/dp \\ dV/dp \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -f_L \\ -f_V \end{pmatrix} \quad (4)$$

2階の条件が満たされるとすると、農産物価格の低下は、必ず要素投入量を減少させることになる。

$$\frac{dV}{dp} = \frac{p(-f_V f_{LL} + f_L f_{LV})}{\Omega_1} > 0, \\ \Omega_1 = p^2(f_{LL} f_{VV} - f_{LV}^2) > 0. \quad (5)$$

次に、農薬の使用量によって農産物価格が低下するケースを見てみよう。国内の農産物価格が、輸入量(M)と農薬使用量に依存して決まってくるとする。

$$p = g[M, V], \quad p_M < 0, \quad p_V < 0.$$

(2)式と同様に、利潤関数は、

$$\pi = p[M, V] \cdot f[L, V] - wL - rV \quad (6)$$

で表される。利潤最大化の1階の条件は、

$$pf_L - w, \quad pf_V + p_V f = r$$

となる。これらの1階の条件より、価格低下の要素投入量に与える影響は、以下のように表される。

$$\begin{pmatrix} pf_{LL} \\ p_V f_L + pf_{LV} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_V f_L + pf_{LV} \\ pf_{VV} + 2p_V f_V + p_{VV} f \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} dL/dM \\ dV/dM \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -p_M f_L \\ -p_M f_V - p_{MV} f \end{pmatrix} \quad (7)$$

2階の条件は満たされるものとする。⁵しかし、このケースにおいては、農産物価格の低下が、必ずしも要素投入量が減少するとは限らない。特に、 $p_{MV} > 0$ のときに、要素投入量が増加する可能性が高まる。

p_{MV} は、輸入が増加したときの、 p_V の変化を表している。図4は、農薬の使用量と価格の関係を表している。実線から点線へのシフトは $p_{MV} < 0$ のケースを、実線から破線へのシフトは $p_{MV} > 0$ のケースを表している。では、この符号の違いは何を表すのだろうか。農産物の輸入増加が、農薬を慣行どおりに使用している農産物を中心に価格低下を招くようであれば、実線から点線へのシフトが起こると考えられる。逆に、慣行農法による農産物であるか特別栽培や有機栽培の農産物で

5 | $p_V f_L$ | がそれほど大きくなければ ($|p_V f_L| < 2pf_{LV}$)、 $f_{LL} f_{VV} - f_{LV}^2 > 0$ が成立すれば、2階の条件は満たされる。

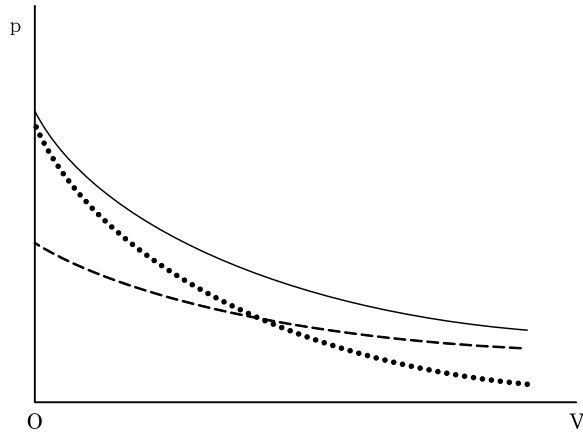


図4. 農薬使用量と農産物価格

あるかを問わずに価格低下を引き起こすのであれば、実線から破線のようなシフトが起こる可能性がある。輸入の増加が、国内で生産されたりんごの価格にどのような影響を与えるかによって、農家の農薬使用量に与える影響が異なってくるのである。時期によって、慣行農産物、特別栽培農産物、有機農産物などの価格への影響の与え方が異なってくるようであれば、同じように貿易自由化や需要減少によって価格が低下している状況でも、農家のマイクロ行動に与える影響は異なってくるのである。

7. 結論

本稿においては、りんご栽培に焦点を当てて、りんご農家の農薬散布の状況を収集可能な資料をもとに概観し、またその変化の要因について、過去20年間の農家にとっての与件の変化を考慮に入れつつ、経済理論モデルを提示した。

第1に、いくつかの資料から、1990年代後半以降は、農薬投入量が減少トレンドにあると考えられることが明らかとなった。これには、貿易の自由化、生鮮果実への需要の減少、消費者の健康リスクへの意識の高まり、およびそれに伴う有機農産物・特別栽培農産物の認証制度の確立など、さまざまな与件の変化が影響を与えてきたと考えられる。

第2に、経済理論を用いて、農家の生産関数や効用関数の形状がいかに、こういった外的与件の変化が、農薬使用量に影響を与えることを明らかとした。

今後の課題としては、(1) 市場価格の変化の要因について、さらに詳しい実証分析を行っていくこと、(2) 農産物だけでなく農薬市場についても実証研究を進めること、などが挙げられる。

参考文献

- (1)青森県りんご試験場 (2001). 『近年の研究成果100選』.
- (2)明石光一郎 (1998)、「農業保護削減と環境保全 — 農家主体均衡理論による接近—」、『農総研季報』、通号40、pp.17-24.
- (3)黒田 誼 (1980)、「農家の主体均衡：一実証的研究」、『農業経済研究』、51 (4)、pp.145-154.
- (4)中嶋千尋 (1981)、「「完全競争的日雇い労働市場に直面する農家」の主体均衡と「常勤兼業農家」の主体均衡」、『農林業問題研究』、17 (3)、pp.105-113.
- (5)日本植物防疫協会 (1986—2005). 『農薬要覧』.
- (6)堀内久太郎 (1981)、「商業的畑作農家の主体均衡について」、『農業経済研究』、52 (4)、pp.147-154.
- (7)本山直樹編 (2001) 『農薬学事典』.