



Title	リンゴを対象としたダメージコントロールによる農薬の限界生産性の計測
Author(s)	紺屋, 直樹
Citation	北海道大学農経論叢, 54, 39-43
Issue Date	1998-03
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/11164">http://hdl.handle.net/2115/11164</a>
Type	bulletin (article)
File Information	54_p39-43.pdf



[Instructions for use](#)

# リンゴを対象としたダメージコントロールによる 農薬の限界生産性の計測

紺屋直樹

## Estimating Pesticide Marginal Productivity of Apples Using Damage Control Econometrics

Naoki KON-YA

### Summary

Empirical studies of pesticide productivity have not been undertaken in Japan. This is mainly due to the difficulty of handling pesticides as a standard economic input. Damage control agent such as pesticides increase the share of potential output that producers realize by reducing damage from natural causes. It differs fundamentally from standard inputs. This article presents estimates of pesticide productivity derived from alternative functional specifications of abatement functions. Results suggest that standard function specifications overestimate damage control agent productivity.

### 1. はじめに

農薬は農業を営むために欠くことのできない生産要素である。農薬の使用は、病害虫の被害から農作物を護り、過酷な除草作業の負担を軽減し、作業時間の大幅な短縮をもたらした。こうしたプラスの面がある一方で、昨今の環境問題に対する関心の増加に伴い、農薬は環境に悪影響を与えるものとしてその利用に疑問が投げかけられている。

わが国の農業では世界的に見て、単位面積当たりにつき、きわめて大量の農薬を使用してきた(荏開津 [5])。そのため、農薬の投入量は適切な水準を大幅に越えており、多少減少させても農産物の生産量には影響がないと言われている。このような議論はジャーナリストに語られることが多いが、農薬の投入量については適切な方法で経済学的に分析を行なう必要がある。しかし、これまでの国内での実証的な生産性の研究では、農薬は生産要素として明示的に取り扱われることがなかった。一方、海外では農薬の生産性の分析については多くの研究がある。土地、労働力、資本などの通常生産要素が潜在的な生産量を増大さ

せるのに対して、農薬は人為的、自然的な被害から潜在的な産出量を維持するという特殊な役割を果たす (Lichtenberg and Zilberman [9])。農薬を含むこのような特徴を持つ生産要素をダメージコントロールエージェントと呼ぶ(註1)。

生物学などでは、農薬と病害虫・雑草による被害との関係をモデルを用いてシミュレーション分析を行う (Cousens [4])。農薬は経済学で仮定されている通常生産要素とは著しく異なる特徴を持つため、農薬と農作物の被害の関係を特定化したモデルを用いることによって、通常生産要素とは異なるダメージコントロールエージェントの特徴を正しく記述することができる。

本稿では経験的データを用いてダメージコントロールエージェントのフレームワークに従い、*abatement function* を確率密度関数で特定化し、農薬の生産性を計測する。計測結果を比較することにより、農薬を従来の生産関数分析で扱うことの問題点を指摘する。また、Carrasco-Tauber and Moffitt [3] の結果との比較も試みる。

2. モデルと計測結果

1) 分析のフレームワーク

農薬の生産性の計測は Headley [7], Campbell [2] を嚆矢として多くの研究がなされている。ダメージコントロールを用いた農薬の研究は Lichtenberg and Zilberman [9] がフレームワークを提示して以来、農薬の生産性の主要な分析方法となっている。Carrasco-Tauber and Moffitt [3] は Headley [7] のフレームワークに従い経験的データを用いて農薬の生産性を計測した。Babcock, Lichtenberg and Zilberman [1] はダメージコントロールエージェントが品質に与える影響を分析した。Fox and Weersink [6] はダメージコントロールエージェントの規模の経済性の可能性を理論的に分析した。

ダメージコントロールエージェントの特徴を確率密度関数で特定化するアプローチには二つの重要な意義がある (Lichtenberg and Zilberman [9])。一つは、従来の生産関数による分析ではダメージコントロールエージェントの生産性を過大に評価してしまい、通常生産要素の生産性は過小評価されてしまう。これは、ダメージコントロールエージェントの限界生産性曲線が通常生産要素よりも急激に下降するためである(註2)。もう一つは、時間の経過に伴ってダメージコントロールエージェントの生産性が変化するというものである。農薬の場合、害虫の農薬に対する抵抗性が徐々に増すことがこの例である(註3)。

既存の研究では以下のようにして abatement function を確率密度関数で特定化することにより、ダメージコントロールエージェントの生産性を計測している。

実際の生産量を二つの部分にわけると、潜在的生産量、すなわち被害により生産量が減少しない場合の生産量と、もう一つは病虫害等による生産量の減少分である。数式を用いて記述すると以下ようになる。

$$Y = F [ Z, G ( X ) ] \tag{1}$$

Y は生産量、Z は通常生産要素、G (・) は abatement function、X はダメージコントロールエージェントである。

ダメージコントロールエージェントの生産性は病虫害などの被害による潜在的生産量の減少分をどれだけ抑えることができたかによって定義できる。ダメージコントロールエージェントが被害をどれだけ抑えることができたかは関数 G ( X ) によって表される。ここで、G (・) は生産量のうち被害を抑えることに対する貢献度、X はダメージコントロールエージェントである。また、 $0 \leq G ( X ) \leq 1$  である。G = 1 のときは被害による生産量の減少分がゼロの場合であり、G = 0 の時は被害を抑えることができなかったと解釈できる。

表1 変数の基本統計

	生産量	労働	土地・建物	機械	その他	肥料	農薬
平均	37092	4425	4870773	488404	640753	302839	681303
標準偏差	21195	2189	3626383	491612	317629	168674	354949

註) 単位は生産量はkg, 労働は時間, それ以外は円。

表2 変数間の相関係数表

	生産量	労働	土地・建物	機械	その他	肥料	農薬
生産量	1.000	0.841	0.714	0.422	0.753	0.755	0.843
労働		1.000	0.742	0.419	0.830	0.716	0.843
土地・建物			1.000	0.408	0.734	0.500	0.692
機械				1.000	0.415	0.327	0.430
その他					1.000	0.660	0.860
肥料						1.000	0.745
農薬							1.000

## 2) データ

計測は、昭和56年から昭和60年のうち昭和59年をのぞく4年間について、農林水産省統計情報部『農産物生産費調査報告 果実生産費』の個別結果表の青森県のりんご栽培農家、全113サンプルについて行った。昭和59年は、豪雪と7月から8月にかけての干ばつによる被害のため生産量が著しく減少したため、対象からはずした（日本農業年鑑刊行会 [10]）。

生産量には標準物換算の生産量を用いた。農薬には農業薬剤費と共同防除負担金を加えたものを用いた。肥料には肥料費を用いた。機械には光熱動力費と固定資本の項目の農機具を加えたものを用いた。その他にはその他の諸材料費、園芸費、賃借料及び料金のうち共同防除負担金を除いたものを用いた。土地及び建物には固定資本のうちの建物及び土地改良、園芸施設、成園を加えたものを用いた。労働には男子労働時間と、相対賃金を用いて男子労働時間に換算した女子労働時間を加えたものを用いた。

## 3) 計測モデル

生産関数は Lichtenberg and Zilberman [9] に従いコブ＝ダグラス型とし、農薬を通常の生産要素と同様に扱ったものと、abatement function を確率密度関数で特定化したものについて計測を行った。

農薬を通常の生産要素と同様に扱ったモデルと、両辺の対数をとり実際の計測に用いた式はそれぞれ以下ようになる。

$$Y = e^{\alpha} L^{\beta_L} B^{\beta_B} M^{\beta_M} F^{\beta_F} O^{\beta_O} X^{\beta_X} e^u \quad (2)$$

$$\ln Y = \alpha + \beta_L \ln L + \beta_B \ln B + \beta_M \ln M + \beta_O \ln O + \beta_X \ln X + u \quad (3)$$

同様に、農薬の代わりに abatement function を特定化したモデルと、実際の計測に用いた式はそれぞれ以下ようになる。

$$Y = e^{\alpha} L^{\beta_L} B^{\beta_B} M^{\beta_M} F^{\beta_F} O^{\beta_O} [G(X)]^{\gamma} e^u \quad (4)$$

$$\ln Y = \alpha + \beta_L \ln L + \beta_B \ln B + \beta_M \ln M + \beta_O \ln O + \gamma \ln [G(X)] + u \quad (5)$$

ここで、 $\alpha$ ,  $\beta_L$ ,  $\beta_B$ ,  $\beta_M$ ,  $\beta_F$ ,  $\beta_O$ ,  $\beta_X$ ,  $\gamma$  は推定すべきパラメータ、 $Y$  は生産量、 $L$  は労働、 $M$  は機械、 $B$  は建物及び土地改良、 $O$  はその他の生産要素、 $F$  は肥料、 $X$  は農薬、 $e$  は自然対数の底、 $u$  は誤差項である。簡略化のために、 $\gamma = 1$  とする（Lichtenberg and Zilberman [9]）。

abatement function を利用したモデルは、Carrasco-Tauber and Moffitt [3] に準拠し、abatement function を、指数分布、ロジスティック分布、ワイブル分布で特定化する。確率密度関数の式はそれぞれ次のようになる。

$$G(X) = 1 - \exp(-\lambda X) \quad (6)$$

$$G(X) = 1 / [1 + \exp(\mu - \sigma X)] \quad (7)$$

$$G(X) = 1 - \exp(-X^c) \quad (8)$$

$\lambda$ ,  $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $c$  はそれぞれ推定すべきパラメータである。

計測は(3)式については通常のOLSを、(5)式については非線形回帰で推定を行った。

## 4) 計測結果

表3は生産関数の係数の推定値を示したものである。全体的にt値が低い(註4)。Carrasco-Tauber and Moffitt [3] の計測結果では、コブ＝ダグラス型、ワイブル分布、ロジスティック分布が似た値を示しているが、これとは異なり、指数分布とロジスティック分布が似た値を示している。

表4は平均値で換算した生産要素の限界生産性を示したものである。農薬に関しては、コブ＝ダグラス型が一番高い値を示しており、理論的に整合的といえる。しかし、農薬以外の生産要素についてはコブ＝ダグラス型の値は必ずしも小さいとは言えず、労働、土地・建物、その他が他のモデルと比較して、コブ＝ダグラス型で値が小さくなっている。ダメージコントロールエージェント

表3 生産関数の係数の推定値

変数	コブ=ダグラス	ダメージコントロール		
		指数	ワイブル	ロジスティック
定数項	-0.507 (-1.04)	1.662 (1.18)	-0.192 (0.01)	2.571 (1.67)
労働	0.485 (4.88)	0.573 (5.66)	0.631 (6.59)	0.543 (5.24)
土地・建物	0.038 (0.91)	0.048 (1.13)	0.045 (1.06)	0.025 (0.58)
機械	0.037 (1.22)	0.029 (0.91)	0.036 (1.14)	0.026 (0.83)
その他	0.114 (1.04)	0.187 (1.60)	0.282 (2.62)	0.175 (1.50)
肥料	0.039 (1.77)	0.037 (1.66)	0.046 (2.09)	0.036 (1.62)
農薬	0.287 (2.58)			
$\lambda$		0.000006 (2.73)		
$c$			0.0576 (0.02)	
$\mu$				0.0951 (0.15)
$\sigma$				0.000003 (2.01)
対数尤度	-4.925	-5.715	-7.199	-4.836
残差平方和	7.219	7.320	7.515	7.207

註) ( ) 内は t 値。

表4 生産要素の限界生産性

変数	コブ=ダグラス	ダメージコントロール		
		指数	ワイブル	ロジスティック
労働	4.07	4.80	5.29	4.56
土地・建物	0.29	0.37	0.35	0.19
機械	2.81	2.20	2.77	2.00
その他	6.61	10.84	16.24	10.16
肥料	4.74	4.56	5.67	4.43
農薬	15.64	3.94	0.88	14.33

註1) 労働はkg/1日。労働以外はkg/千円。  
 註2) 平均値で評価したものである。

の生産性を推定するのに OLS を用いた場合、コブ=ダグラス型生産関数で特定化を行うと、ダメージコントロールエージェントの限界生産性については過大評価され、通常の生産要素については過小評価されてしまうことが理論的に証明されている (Lichtenberg and Zilberman [9])。しかし、実際の計測に用いた非線形回帰については OLS を用いた場合のようなパラメータの大小関係は証明されていない。Carrasco-Tauber and

Moffitt [3] と異なる結果を得たのはコブ=ダグラス型の場合の通常の生産要素のパラメータがダメージコントロールの場合よりも過小評価されるという関係が、非線形回帰に関しては必ずしも成り立たないためだと考えられる。

### 3. むすび

本稿では従来用いられてきたコブ=ダグラス型の生産関数とダメージコントロールのフレーム

ワークを用いた abatement function を指数分布、ワイブル分布、ロジスティック分布で特定化することによって、農薬の限界生産性を計測した。そのことによって、従来の生産関数で農薬を通常の生産要素と同様に扱うと生産性が過大評価されることを明らかにした。

Carrasco-Tauber and Moffitt [3] が指摘しているように、農薬の生産性を説明する要因は農薬の特性を反映させた確率密度関数の特定化以外にも存在すると考えられる。中でも農薬の限界生産性は通常生産要素の限界生産性と比較して傾きが急であること、時間の経過とともに生産性が低下するなどの先験的な知識をもとに abatement function を特定化することによって、農薬を経済分析の俎上に載せることができたことは、今後必要となってくるであろう農業の分野における環境政策の経済分析のためにも意義があると思われる。それは従来の生産関数による分析では誤った政策的インプリケーションを導く危険性があるからである。例えば Fox and Weersink [6] の研究によれば、ダメージコントロールエージェントの規模の経済が働く場合、価格に関するコスト関数が不連続となってしまうため、農薬の使用を減らすための課税が、農薬の異なる水準に対して全く異なる影響を与える。このような点を考慮した上で、適切な特定化を行うことによって分析をする必要がある。

## 註

(註1) 他には風防、火災報知器、スプリンクラー、防犯装置等がある (Lichtenberg and Zilberman [9])。

(註2) 通常生産要素の限界生産性が右下がりの曲線であるのに対して、ダメージコントロールエージェントの限界生産性は正規分布のような形状になる。詳しくは Lichtenberg and Zilberman [9] を参照。

(註3) 害虫の抵抗性が増し、効果が薄くなった農薬はその使用量が時間の経過とともに減少すると考えられるが、短期的には農家はその農薬の使用量を増加させる。これは、通常生産要素が、その効果が薄くなると使用量を減少させるのとは異なる (Lichtenberg and Zilberman [9])。

(註4) ダメージコントロールモデルの計測には非線形回帰を行ったので、t 値は漸近標準誤差 (asymptotic standard error) で評価した値である。

## 参考文献

- [1] Babcock, B. A., E. Lichtenberg and D. Zilberman, "Impact of Damage Control and Quality of Output: Estimating Pest Control Effectiveness," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 74, 1991, pp. 271-280.
- [2] Campbell, H. F., "Estimating the Marginal Productivity of Agricultural Pesticides: The Case of Tree Fruit Farms in the Okanagan Valley," *Canadian Journal of Agricultural Economics*, Vol. 24, 1976, pp. 23-30.
- [3] Carrasco-Tauber, C., and L. J. Moffitt, "Damage Control Econometrics: Functional Specification and Pesticide Productivity," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 74, 1992, pp. 158-162.
- [4] Cousens, R., "An Empirical Model Relating Crop Yield Loss to Weed and Crop Density and a Statistical Comparison with Other Models," *Journal of Agricultural Science*, Vol. 105, pp. 513-521.
- [5] 荏開津典生【農業経済学】岩波書店, 1997.
- [6] Fox, G., and A. Weersink, "Damage Control and Increasing Returns," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 77, 1995, pp. 33-39.
- [7] Headley, J.C., "Estimating the Productivity of Agricultural Pesticides," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 50, 1968, pp. 13-23.
- [8] Judge, G. G., R. C. Hill, W. E. Griffiths, H. Lütkepohl and T.-C. Lee, *Introduction to the Theory and Practice of Econometrics*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, N. Y., 1988.
- [9] Lichtenberg, E. and D. Zilberman, "The Econometrics of Damage Control: Why Specification Matters," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 68, 1986, pp. 261-273.
- [10] 日本農業年鑑刊行会編【日本農業年鑑】家の光協会, 1985.
- [11] 竹内啓監修, 芳賀敏郎・野澤昌弘・岸本淳司著【SASによる回帰分析】東京大学出版会, 1996.