

Title	公共財に関する独占的供給者に対するコスト削減努力を引き出すインセンティブ契約の検討
Sub Title	
Author	河西, 元彦(Kasai, Motohiko) 渡邊, 直樹(Watanabe, Naoki)
Publisher	慶應義塾大学大学院経営管理研究科
Publication year	2020
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2020年度経営学 第3697号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40003001-00002020-3697

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

慶應義塾大学大学院経営管理研究科修士課程

学位論文（ 2020 年度）

論文題名

公共財に関する独占的供給者に対するコスト削減努力を引き出すインセンティブ契約の検討

主 査	渡邊 直樹
副 査	太田 康広
副 査	後藤 励
副 査	

氏 名	河西 元彦
-----	-------

論文要旨

所属ゼミ	渡邊ゼミ	氏名	河西 元彦
<p>(論文題名)</p> <p>公共財に関する独占的供給者に対するコスト削減努力を引き出すインセンティブ契約の検討</p>			
<p>(内容の要旨)</p> <p>本研究は、公共財である国防というサービスを構成する防衛装備品に注目し、防衛省（旧防衛庁）の防衛装備品の調達に係るこれまでのインセンティブ契約制度を評価するとともに、調達先企業に正直申告をもたらしつつ、防衛装備品の生産に関するコスト（以下、「生産コスト」という。）の削減に係る努力を引き出す契約の概形の導出することにより、今後の制度変更の検討の資とするものである。</p> <p>防衛装備品はその特殊な仕様等から、競争によって調達先企業を決定することがなじまず、特定の調達先企業と随意契約によって調達されているものが少なくない。そのため、調達先企業にその生産に関するコストの削減を促しつつ、それに見合った支払額を決定するには、制度設計理論における正直申告をもたらす取引機構の設計が重要となる。</p> <p>特定の調達先企業は独占的な供給者と考えられる。独占的な供給者がある取引を行い場合、市場における自由取引による競争均衡で達成される社会的余剰より減少することが知られている。また、需要者が唯一人の需要者である場合、需要者は生産に関するコストを全て負担することを強いられたとて、その要求に応じなければ、そもそも取引が成立しない事態に陥ることになる。そのため、唯一人の需要者がそのような負担を容認せざるを得ない状況において、供給者は、コスト削減に係る努力をしないだろう。他方で、防衛省（旧防衛庁）は、防衛装備品の調達価格の低減するため、1999年に調達先企業の努力により、防衛装備品の生産コストを削減した場合、その生産コストの削減額の一部を利益として付与する制度である減価提案制度を創設し、以降、インセンティブ契約制度に名称を変える等の制度変更を重ねている。</p> <p>本研究では、これまでのインセンティブ契約制度が生産コストの削減に係る努力を促すという目的で創設され、その制度変更が制度の積極的活用を促すという目的で行われたことから、制度変更がその目的に合致しているかを調達先企業の参加制約及びインセンティブ強度を用いて、評価した。これまでのインセンティブ契約制度に関しては、その契約実績に関する詳細な情報を得ることができなかったことから、その理論モデルを用いて評価した。調達先企業の参加制約は、制度変更に応じて緩和しており、目的に合致したものであったといえることを示した。他方で、政府の目的関数を防衛装備品の調達による国民の便益とその調達に係る支出の機会費用の差の最大化とした理論モデルを用いて、そのインセンティブ強度を求めたところ、各制度のインセンティブ強度が国民の便益の大きさによって大小関係が入れ替わり、制度の目的に合致した制度変更とは明確にいえなかったことを示した。また、随意契約によって調達される防衛装備品を検討の対象として、調達先企業の技術水準のような生産コストに係るパラメータや生産コストの削減に係る努力水準という情報を観察できない場合、これらをどのように制御すれば、調達先企業に正直申告をもたらしつつ、生産コストの削減に係る努力を引き出す契約となるかについて、社会全体の余剰を防衛装備品の調達による国民の便益、その調達に係る支出の機会費用及び調達先企業の利得で表し、政府の目的をその社会全体の余剰の最大化とした理論モデルを用いて、検討した。政府及び調達先企業がリスク中立的である場合において、そのような契約は、一定の報酬を与え、調達先企業に生産コストを申告させ、その生産コストの一定割合を保証するとともに、政府が事後観察する実際の生産コストと調達先企業が申告した生産コストとの差額の一定割合を加算する形で与えられることを示した。また、政府が事後ノイズを伴う生産コストを観察する場合や政府又は調達先企業がリスク回避的であっても、最大化の条件が異なるものの、契約の概形は変わらないことを示した。</p>			

目次

第1章	はじめに	3
第2章	防衛装備品の調達	6
2.1	防衛装備品の調達方法と調達実績	6
2.1.1	防衛装備品の調達方法	6
2.1.2	防衛装備品の調達実績	8
2.2	防衛装備品に係るインセンティブ契約制度	9
第3章	これまでのインセンティブ契約制度の評価	13
3.1	調達先企業の参加制約の評価	14
3.2	インセンティブ強度の評価	17
3.2.1	三角分布の場合	23
3.2.2	切断三角分布の場合	29
3.2.3	本節のまとめ	34
第4章	調達先企業に正直申告をもたらし、生産コストの削減に係る努力を引き出す契約の検討	35
4.1	モデルの設定	35
4.1.1	完備情報の場合	36
4.1.2	不完備情報の場合	37
4.2	ノイズを伴う生産コストを観察する場合	42
4.2.1	政府及び調達先企業がリスク中立的である場合	43
4.2.2	政府がリスク回避的である場合	44
4.2.3	調達先企業がリスク回避的である場合	46
4.2.4	本節のまとめ	49
第5章	まとめ	49

謝辞

参考文献	51	
付録A	これまでのインセンティブ契約制度の評価（調達先企業の参加制約）	53
付録B	First Order Approach	63
付録C	顕示原理（表明原理：Revelation Principle）	66
付録D	ポントリャーギンの最大値原理（Pontryagin maximum principle）	68

公共財に関する独占的供給者に対するコスト削減 努力を引き出すインセンティブ契約の検討

河西元彦

1 はじめに

本研究は、公共財である国防というサービスを構成する防衛装備品に注目し、防衛省（旧防衛庁）の防衛装備品の調達に係るこれまでのインセンティブ契約制度を評価するとともに、調達先企業に正直申告をもたらしつつ、防衛装備品の生産に関するコスト（以下、「生産コスト」という。）の削減に係る努力を引き出す契約の概形の導出することにより、今後の制度変更の検討の資とするものである。

防衛装備品の調達では、取引される防衛装備品の特殊な仕様等から、競争によって調達先企業を決定することがなじまず、特定の調達先企業との随意契約によって調達されているものが少なくない。そのため、調達先企業にその生産コストの削減を促しつつ、それに見合った支払額を決定するには、制度設計理論における正直申告をもたらす取引機構の設計が重要となる。なお、公共財には相見積もりを取得できるような財やサービスで構成されるものもあり、その場合、競争による調達先企業の決定が実現しうるため、本研究の対象とはしていない。

我が国の財政は歳出が歳入を上回る状況が続いており、その差額は公債の発行によっ

て賄われている。財務省(2020)によれば、その総債務残高は2020年時点で対GDP比250%を超過している。そのような状況において、政府は、納税者に更なる負担を求めることが困難であるとともに、支出の妥当性を説明する責任を果たしていかなければならない。また、新型コロナウイルス感染症対策として支出が増加することから、今後より一層厳しい状況になることが推察される。

そうした中、防衛関係費は、近年増加傾向にあり、防衛省(2020a)によれば、年度予算が5兆円を超えており、その一部によって防衛装備品を調達している。防衛装備品の調達においては、主に防衛装備庁で調達されており、防衛省 防衛装備庁(2020)によれば、2019年度の総契約金額は約1兆8千億円となっている。防衛装備品はその特殊な仕様等から、調達先企業が限られるため、競争によって調達先企業を決定することがなじまず、特定の調達先企業との商議によって契約を締結する随意契約で調達されており、その契約金額は総契約金額の約36%を占めている。

特定の調達先企業は独占的な供給者と考えられる。独占的な供給者がある取引を行う場合の社会的余剰は、市場における自由取引による競争均衡で達成される社会的余剰より減少することが知られている。また、需要者が唯一人の需要者である場合、その生産コストを全て負担することを強いられたとしても、その要求に応じなければ、そもそも取引が成立しない事態に陥ることとなる。そのため、唯一人の需要者がそのような負担を容認せざるを得ない状況において、供給者は生産コストの削減に係る努力をしないだろう。

他方で、防衛省(旧防衛庁)は、防衛装備品の調達価格の低減するため、1999年に調達先企業の努力により、防衛装備品の生産コストを削減した場合、その生産コストの削減額の一部を利益として付与する制度である減価提案制度を創設し、2002年に名称をインセンティブ契約制度とし、制度の適用期間を3年から5年に改めた。1999年の制度制定から9年間に当該制度の適用があったのは2件(低減額27百万円)であった。その後、利

益として付与する生産コストの削減額の割合を変更するなどの制度変更を重ね、2019年度には35件（低減額不明）になっているが、その効果は明らかではない。なお、これらの制度は、主に生産コストの削減に着手する前に、調達先企業に生産コストの削減方法及びその削減額を確約させ、確約した削減額の一定割合を調達先企業に支払うものであった。

本研究では、まず、これまでのインセンティブ契約制度が生産コストの削減に係る努力を促すという目的で創設され、その制度変更が制度の積極的活用を促すという目的で行われていることから、制度変更がその目的に合致しているかを調達先企業の参加制約及びインセンティブ強度を用いて、評価した。これまでのインセンティブ契約制度の適用実績に関する詳細な情報を得ることができなかったことから、その理論モデルを用いて評価した。調達先企業の参加制約は、制度変更に応じて緩和しており、制度変更は目的に合致したものであったといえることを示した。他方で、政府の目的関数を防衛装備品の調達による国民の便益とその調達に係る支出の機会費用の差の最大化とした理論モデルを用いて、そのインセンティブ強度を求めたところ、各制度のインセンティブ強度が国民の便益の大きさによって大小関係が入れ替わり、制度の目的に合致した制度変更とは明確にいえなかったことを示した。次に、随意契約によって調達される防衛装備品を検討の対象として、調達先企業の技術水準のような生産コストに係るパラメータや生産コストの削減に係る努力水準という情報を観察できない場合、これらをどのように制御すれば、調達先企業に正直申告をもたらしつつ、生産コストの削減に係る努力を引き出す契約となるかについて、社会全体の余剰を防衛装備品の調達による国民の便益、その調達に係る支出の機会費用及び調達先企業の利得で表し、政府の目的をその社会全体の余剰の最大化とした理論モデルを用いて、検討した。政府及び調達先企業がリスク中立的である場合において、そのような契約は、一定の報酬を与え、調達先企業に生産コストを申告させ、その生産コストの一定割合を保証するとともに、政府が事後観察する実際の生産コストと調達先企業が申告した生

産コストとの差額の一定割合を加算する形で与えられることを示した。また、政府が事後ノイズを伴う生産コストを観察する場合や政府又は調達先企業がリスク回避的であっても、最大化の条件が異なるものの、契約の概形は変わらないことを示した。

本論文の構成は次のとおりである。まず、第2章において、防衛装備品の調達制度とこれまでのインセンティブ契約制度について、制度の内容及びその適用件数などを概括する。第3章において、これまでのインセンティブ契約制度の理論モデルを構築し、調達先企業の参加制約及びインセンティブ強度を評価している。第4章において、随意契約によって調達される防衛装備品を検討の対象として、調達先企業に正直申告をもたらしつつ、生産コストの削減に係る努力を引き出すための契約の概形を導出している。

2 防衛装備品の調達

2.1 防衛装備品の調達方法と調達実績

2.1.1 防衛装備品の調達方法

防衛省 防衛装備庁 (2020) によれば、防衛装備品のうち主要なもの（火器、誘導武器、船舶、航空機など）の調達は防衛装備庁において一元的に実施しており、これを中央調達と呼び、防衛関係費全体の約3分の1に相当する金額を執行している。防衛装備品の調達業務は「装備品等及び役務の調達実施に関する訓令」に基づき、主に防衛装備庁において実施され、契約相手方（調達先企業）を選定する方式は、次のように区分されている。

- ・一般競争契約：契約の内容、入札条件等を広く一般に公告して一定の資格のある不特定多数の者を入札に参加させ、国に最も有利な条件をもって応札した者を相手方として契約を締結する方式
- ・指名競争契約：入札に参加する者を国が一定の資格を有する者の中から資産、信用等の

ある者又は契約の内容に応じた条件等に合致する者を選定し、その特定した者（複数）に契約内容、入札条件等を通知し、競争入札により相手方を決定して契約を締結する方式

- ・ 随意契約 : 契約の性質又は目的が競争を許さない場合、緊急の必要により競争に付することができない場合、競争に付することが不利と認められる場合その他法令に定める場合に、国が一定の条件等の下で選んで特定した者と商議によって契約を締結する方式

会計法において原則競争に付するものとされているが、防衛装備品はその特殊な仕様や先端技術等を必要とし、また法令などの制約もあり、競争によって調達先企業を決定することが取引の在り様になじまず、随意契約で調達されるものが少なくない。

防衛省 防衛装備庁 (2020) によれば、契約に先立ち、その契約金額を決定する基準として、中央調達に関しては、防衛装備庁の契約担当官等が予め作成する見積価格として予定価格を算定している。予定価格の役割は、いわば、落札決定の基準とする最高制限価格としての意味を持つほか、与えられた予算をもって、最も経済的な調達をするために、適正かつ合理的な価格を算定し、これをもって入札価格を判断する尺度となすことである。その算定方式には、次の市場価格方式と原価計算方式がある。

- ・ 市場価格方式 : 一般に、競争市場における売手と買手によって合意された物品の価値を貨幣で表した市場価格を基準とする計算方式
- ・ 原価計算方式 : 市場価格方式により難しい場合に適用する計算方式で、生産費用を構成要素ごとに積上げた製造原価に適正利益等を付与して計算する方式

防衛省 防衛装備庁 (2020) によれば、契約金額は、契約締結時に確定されていることが原則となっており、契約の内容によっては必ずしも契約当初に確定することができない場合又は不適當な場合があるため、契約方法を次のように区分して運用している。

- ・ 確定契約 : 契約金額をもって契約相手方に支払われる代金の金額を確定している契約
- ・ 準確定契約 : 代金の金額を予め定める基準に従い、契約金額の範囲内で確定する契約
- ・ 概算契約 : 前二者の契約方法によることが適當ではないと認められる場合に、代金の金額を後日、予め定める基準に従って確定することとしている契約

2.1.2 防衛装備品の調達実績

防衛省 防衛装備庁 (2020) によれば、2019 年度における調達実績は、表 1、表 2、表 3 のとおりである。FMS(有償援助調達 : Foreign Military Sales^{*1}) を除けば、随意契約の 1 件あたりの金額が最も大きく、1 契約あたり約 9 億円となっている (表 1 参照)。契約金額全体の約 92% を 2 億円を超える契約が占めており (表 2 参照)、FMS を除けば、原価計算方式を用いた契約の契約金額が契約金額全体の約 70% を占めている (第 6 章の 4 及び表 3 参照)。

表 1 2019 年度の中央調達の契約方式別契約実績

	一般競争契約	指名競争契約	随意契約	FMS	計
件数	4,663 82.5%	6 0.1%	766 13.6%	214 3.8%	5,649
金額 (億円)	4,819 26.4%	9 <0.1%	6,546 35.9%	6,869 37.7%	18,243

^{*1} 日本国とアメリカ合衆国との間の相互防衛援助協定に基づき、日本国がアメリカ合衆国政府から装備品等及び役務を購入する調達方式

表2 2019年度の中央調達契約金額別契約実績

	1000万円以下	3000万円以下	1億円以下	2億円以下	2億円超	計
件数	2,425	1,005	1004	457	758	5,649
	42.9%	17.8%	17.8%	8.1%	13.4%	
金額 (億円)	86	180	575	640	16,763	18,243
	0.4%	1.0%	3.2%	3.5%	91.9%	

表3 2019年度の中央調達の予定価格算定方式別契約実績

		一般 装備品	誘導 武器	艦船	航空機	一般 輸入品	FMS	計
市場価格 方式	件数	4,054	0	55	62	97	214	4,482
	金額 (億円)	2,484	0	80	19	836	6,869	10,288
原価計算 方式	件数	793	81	63	229	1	0	1,167
	金額 (億円)	3,226	1,629	1,280	1,818	1	0	7,954
計	件数	4,847	81	118	291	98	214	5,649
	金額 (億円)	5,710	1,629	1,360	1,837	837	6,869	18,243

2.2 防衛装備品に係るインセンティブ契約制度

防衛省 装備施設本部 (2020a) によれば、防衛省 (旧防衛庁) は、1999 年に、「企業が水増し請求等の不正な手段により利益を確保しようとする (原文ママ) のではなく、企業努力

に応じた利益を付与する契約制度により調達価格の低減と企業利益の増大を実現」(4 ページ参照) するとして、減価提案制度を創設した。本制度は、ある防衛装備品の生産コストの削減に着手する前に生産コストの削減の方法と削減額を確約することで、以後3年間、本制度を適用した防衛装備品の調達の際に、その削減額の50%を提案した調達先企業に付与するものであった。2002年には、「企業の努力によりコストの低減が生じた場合に、低減額の一部を企業側に付与することにより、民間企業のコスト低減への動機づけ(インセンティブ)を高め、調達価格の低減を実現する制度」(3 ページ参照)として制度変更が行われ、「民間事業者が有する独自の技術又は製造ノウハウを活用することにより調達価格の低減を可能とする提案(技術提案)に対し、価格低減額の50%を、5年間、技術提案料として付与」(4 ページ参照)する制度となり、名称もインセンティブ契約制度と改めた。なお、1999年の制度創設からの9年間で本制度に基づき提案があったのは、2件(価格低減額27百万円)のみであった。なお、生産コストの削減に着手する前に削減方法と削減額を確約する手法となった要因について考えると、調達先企業が水増し請求等の不正な手段により利益を確保していたことを受けて、本制度が創設されたことから、防衛省(旧防衛庁)としては、本制度が適用された場合に確実に調達価格を低減させることができ、調達先企業に実現する削減額に関するリスクの負担を求めたものと推察される。つまり防衛省(旧防衛庁)が考えるインセンティブ契約制度には、確実に調達価格を低減させ、また、実現する削減額に関するリスクを完全に回避するという制約があると考えられる。

そこで、2008年、調達先企業にインセンティブ契約制度の積極的活用を促すため、制度変更が行われ、従来の提案要件に「設備投資や生産管理の改善等の様々な低減努力」(6 ページ参照)を加え、「企業が計画的に行う活動全てを対象」(7 ページ参照)とした新たなインセンティブ制度となった。また、原価計算方式が生産コストに一定の利益率の乗じることで利益を付与する計算方式であるため、調達先企業の努力により生産コストの削減

が行われた場合、従前の技術提案料では当該削減額に係る利益分が調達先企業の利益から減少していたことに配慮し、本制度においては、削減額の50%に加え、当該低減額に係る利益分を加算した原価改善提案料を付与する制度となった。加えて、本制度の適用期間である5年間で、低減額の50%の範囲内で原価改善提案料を傾斜配分することが可能（例えば、各年度同じ数量を調達する場合、90%、80%、50%、20%、10%などにできる。）となった。調達先企業は、従来と同様に、生産コストの削減に着手する前に生産コストの削減の方法及びその削減額を確約することが求められた。なお、防衛省(2020b)によれば、本制度変更後2年間の適用件数は2件であった。

防衛省 装備施設本部(2020b)によれば、2013年、更に調達先企業にインセンティブ契約制度の積極的活用を促すため、制度変更が行われ、「企業からコスト低減に向けた意欲を引き出すため、企業が契約締結時に念頭に置いていなかった技術等によるコスト削減策を提案し、防衛省に採用された場合に、コスト削減効果の一部をインセンティブ料としてコスト削減後の契約価格に加算する」(2ページ参照)として、新たなインセンティブ契約制度となった。この制度変更により、申請方式が追加され、インセンティブ料率の多様化が図られ、また、一定の条件があるものの、本制度の適用期間の延長及び本制度の適用期間中の契約の随意契約化が可能となった。申請方式の追加については、従来の生産コストの削減に着手する前に生産コストの削減の方法と削減額を確約する方式に、生産コストの削減に着手する前に生産コストの削減方法を示した上で事後にその削減額を確定させる方式と契約時には想定していなかった生産コストの削減が実現した場合、事後に申告する方式が加えられた。インセンティブ料率の多様化については、生産コストの削減に着手する前に生産コストの削減の方法と削減額を確約する方式においては、従来の制度では防衛省と調達先企業で生産コストの削減額を均等に分け合うもの(料率50%)であったところ、生産コストの削減額に対するインセンティブ料率が引き上げられ、また、本制度変更により

よって新たに設けられた申請方式においても、従来の 50% を上回る料率が設定され、調達先企業により多く生産コストの削減額を分け合うものに変更された（5 ページ及び表 4 参照）。更に、生産コストの削減の方法と削減額を確約する方式においては、生産コストの削減額が当初の生産コストの 5% を超える部分については、更に大きな料率が適用されることとし、調達先企業にとって大きな生産コストの削減がより魅力的となるようになっている。本制度の適用期間の延長については、本制度の適用期間が通常 5 年であるところ、生産コストの削減額が当初の生産コストの 10% を超える毎に本制度の適用期間が 1 年ずつ延長するとされ、延長された期間においては、従来の 50% を上回る 55% の料率が適用されることとなった。本制度の適用期間中の契約の随意契約化については、従来の制度では、生産コストの削減を行っても事後の契約が約束されず、初期投資を要するような大規模な生産コストの削減が行われなかったことを受け、当初の生産コストの 20% 超の削減額を約束した場合、本制度の適用期間中の契約が随意契約となることとされた。

本制度が適用された例を考える。5% 以下の生産コストの削減方法と削減額を確約した場合、本制度の適用期間は 5 年であり、その料率は、各年それぞれ、90%、85%、80%、75%、70% が適用される。また、20% 以下の生産コストの削減方法と削減額を確約した場合、削減額が 10% を超えていることから、本制度の適用期間は 1 年加算されて 6 年となり、その料率は、5% 以下の部分については、先の例と同様に、90%、85%、80%、75%、70% となり、5% を超える部分については、100%、95%、90%、85%、80% と、更に高い料率が適用される。また、6 年目には、コスト削減額に対して 55% の料率が適用される。

なお、防衛省 防衛装備庁 (2020) によれば、本制度の適用件数は増加傾向にある（資料編の 6 及び表 5 参照）。

表4 各方式におけるインセンティブ料率(単位%)

適用方式		1年以内	1年超 2年以内	2年超 3年以内	3年超 4年以内	4年超 5年以内	5年超
原価改善提案方式 (確約型)	削減割合5% 以下の部分	90	85	80	75	70	55
	削減割合5% 超の部分	100	95	90	85	80	
原価改善提案方式 (確定型)		80	75	70	65	60	55
原価改善申告方式		55	55	55	55	55	55

表5 インセンティブ契約制度の実績

	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度
件数	13	21	25	33	35

3 これまでのインセンティブ契約制度の評価

ここでは、これまでのインセンティブ契約制度の理論モデルを用いて、各制度の調達先企業の参加制約及びインセンティブ強度について評価する。

3.1 調達先企業の参加制約の評価

本節では、理論モデルによる分析に先立って、これまでの制度変更が調達先企業に同制度の積極的活用を促す目的としていることを踏まえ、各制度の調達先企業の参加制約を比較する。政府（現防衛省、旧防衛庁）と調達先企業との間で、 t 年度にわたって、ある防衛装備品について原価計算方式で予定価格が算定される契約がなされるとする。また、この防衛装備品の調達にインセンティブ契約制度が適用される期間を $k(< t)$ とし、契約した最初の年度から適用されるものとする。政府は防衛装備品を毎年度調達し、各年度 $i = 1, \dots, t$ の調達数量を Q_i とし、他の企業による参入はないものとして、同じ調達先企業がインセンティブ契約制度の適用後の防衛装備品の総調達量 $Q_T = \sum_1^t Q_i$ を調達するものとする。生産コストの削減が行われない場合の当初の 1 単位あたりの生産コストを C_B 、調達先企業が確約した 1 単位あたりの生産コストの削減額を $c_p(0 \leq c_p \leq C_B)$ とする。実現した 1 単位あたりの生産コストの削減額を $x(0 \leq x \leq C_B)$ とし、確率密度関数 $f(x, e)$ に従って初年度 $i = 1$ の生産開始前に実現する。調達先企業の生産コストの削減に係る努力水準を $e(0 \leq e \leq \infty)$ とすると、生産コストの削減に係る努力は初年度の一回限りのものとし、その努力には不効用 $\psi(e)$ が伴う。なお、政府が調達先企業に対する原価監査や見積精査を行うことを考慮し、政府及び調達先企業にとって当初の 1 単位あたりの生産コスト C_B は既知であり、実現した 1 単位あたりの生産コストの削減額 x は政府にとって観察可能とし、簡略化のため、社会情勢や経済環境の変化がないものと考え、調達数量、生産コストや利益率が変化しないものとし、政府も調達先企業もリスク中立的とする。また、時間割引もないものとする。

まず、インセンティブ料（確約型）について整理すれば、契約期間全体における政府の総支払額 T_T と調達先企業の（努力による不効用を差し引かない）粗利得 Π_T は、確約し

た1単位あたりの生産コストの削減額 c_p が当初の1単位あたりの生産コスト C_B の5%以下であれば、次のように設定される。

インセンティブ料（確約型）：

$$T_T = (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_T + \sum_{i=1}^k (\beta_i + \alpha)c_p Q_i \quad (1)$$

$$\Pi_T = \alpha C_B Q_T + \sum_{i=1}^k (\beta_i + \alpha)c_p Q_i - (1 + \alpha)c_p Q_T + x Q_T \quad (2)$$

ここで、 x は実現した1単位あたりの削減額であり、 α は確約した生産費用に対して付される利益率 ($0 < \alpha < 1$)、 β_i は制度適用期間中の確約した1単位あたりの費用削減額 c_p に対して付される料率 ($0 < \beta_i < 1$ for all $i = 1, \dots, k$) である。調達先企業は、確約した生産費用 $(C_B - c_p)Q_i$ に対して、利益率に対応する支払いを受けた上で、確約した生産コストの削減額 $c_p Q_i$ に対して、利益率と料率に対応する追加支払いを受けることとなる。以下では、数式の煩雑さを避け、比較を容易にするため、確約した1単位あたりの生産コストの削減額 c_p を当初の1単位あたりの生産コスト C_B の5%以下とし、制度の適用期間を5年、 β_i を1年目は0.90、それ以降の年度では順に0.85、0.80、0.75、0.70が適用されるものとする。

比較する他の制度については、(1) 及び (2) に基づけば、原価改善提案料では β_i が制度の適用期間中は一定に固定されており、技術提案料では β_i の値の固定に加えて、右辺第2項の $\alpha = 0$ が課される。実際の技術提案料と原価改善提案料では制度の適用期間は5年で固定され、 β が0.5に固定されているので、 $\beta = 0.5$ とすると、以下のように契約期間全体における政府の総支払額 T_T と調達先企業の粗利得 Π_T は以下のようにまとめられる。

技術提案料：

$$T_T = (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_T + \sum_{i=1}^5 0.5c_pQ_i \quad (3)$$

$$\Pi_T = \alpha C_B Q_T + \sum_{i=1}^5 0.5c_pQ_i - (1 + \alpha)c_pQ_T + xQ_T \quad (4)$$

原価改善提案料：

$$T_T = (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_T + \sum_{i=1}^5 (0.5 + \alpha)c_pQ_i \quad (5)$$

$$\Pi_T = \alpha C_B Q_T + \sum_{i=1}^5 (0.5 + \alpha)c_pQ_i - (1 + \alpha)c_pQ_T + xQ_T \quad (6)$$

以上から、また、初年度における生産コストの削減に係る努力に伴う不効用 $\psi(e)$ が初年度に発生するため、調達先企業の総利得 Π は、

$$\text{技術提案料:}\Pi = \alpha C_B Q_T + \sum_{i=1}^5 0.5c_pQ_i - (1 + \alpha)c_pQ_T + xQ_T - \psi(e) \quad (7)$$

$$\text{原価改善提案料:}\Pi = \alpha C_B Q_T + \sum_{i=1}^5 (0.5 + \alpha)c_pQ_i - (1 + \alpha)c_pQ_T + xQ_T - \psi(e) \quad (8)$$

$$\text{インセンティブ料(確約型):}\Pi = \alpha C_B Q_T + \sum_{i=1}^5 (\beta_i + \alpha)c_pQ_i - (1 + \alpha)c_pQ_T + xQ_T - \psi(e) \quad (9)$$

となる。調達先企業の参加制約は、(7)、(8)、(9) が、生産コストの削減に係る努力を全くしなかった場合の総利得 $\alpha C_B Q_T$ を上回ることである。(7) と (8) を比較すると、第 2 項に $\alpha(0 < \alpha < 1)$ が加算されており、制度変更に伴い参加制約が緩和されている。また、(8) と (9) を比較すると、 $\beta_i > 0.5$ であることから、制度変更に伴い、更に参加制約が緩和されている。詳しくは付録 A を参照してほしい。

3.2 インセンティブ強度の評価

ここでは、政府の目的が調達価格を下げるために、調達先企業に生産コストの削減に係る努力を促すことを目的としていることを踏まえ、これまでのインセンティブ契約制度のうち、どの制度が調達先企業に生産コストの削減に係る努力をより強く求められる制度であるかを比較するため、Hölmstrom(1979)で示された First Order Approach に基づいて分析を進め、調達先企業が生産コストの削減に係る努力に関するインセンティブ強度を比較する。直感的には、インセンティブが増加するように制度変更してきたため、技術提案料、原価改善提案料、インセンティブ料（確約型）の順にインセンティブ強度が高くなると考えられるが、果たしてそうであろうか。

減価提案制度（インセンティブ契約制度）の創設の目的は、調達先企業の努力により防衛装備品の生産コストを削減させ、防衛装備品の調達価格を削減することであるから、調達数量を変えずに支払額を減額することであるといえる。そこで、調達した数量 Q の防衛装備品によって得られる国民の便益を $S(Q)$ とし、間接税の税率を λ を用いて、公的資金の機会費用は $(1 + \lambda)T$ とする。調達総数量 Q_T の防衛装備品によって国民が得る総余剰は $S(Q_T) - (1 + \lambda)T_T$ で与えられ、この最大化を政府の目的とする。

前節と同様に、政府（現防衛省、旧防衛庁）と調達先企業との間で、 t 年度にわたって、ある防衛装備品について原価計算方式で予定価格が算定される契約がなされるとする。また、この防衛装備品の調達にインセンティブ契約制度が適用される期間を $k (< t)$ とし、契約した最初の年度から適用されるものとする。政府は防衛装備品を毎年度調達し、各年度 i の調達数量を Q_i とし、他の企業による参入はないものとして、同じ調達先企業がインセンティブ契約制度の適用後の防衛装備品の総調達量 $Q_T = \sum_1^t Q_i$ を調達するものとする。生産コストの削減が行われない場合の当初の 1 単位あたりの生産コストを C_B 、調

達先企業が確約した1単位あたりの生産コストの削減額を $c_p (0 \leq c_p \leq C_B)$ とする。実現した1単位あたりの生産コストの削減額を $x (0 \leq x \leq C_B)$ とし、確率密度関数 $f(x, e)$ に従って初年度 $i = 1$ の生産開始前に実現する。調達先企業が生産コストの削減に係る努力水準を $e (0 \leq e \leq \infty)$ とすると、生産コストの削減に係る努力は初年度の一回限りのものとし、その努力には不効用 $\psi(e)$ が伴う。調達先企業が生産コストの削減に係る努力に伴う不効用 $\psi(e)$ と1単位あたり削減額の実現確率 $f(x, e)$ について、政府及び調達先企業双方がそれらの関数形を知っており、 $\psi(e)' > 0$ かつ $\psi(e)'' > 0$ を満たし、 $f(x, e)$ における x の定義域は e とは独立であると仮定する。また、モデルを単純化するために、実現した1単位あたりの生産コストの削減額 x が確約した1単位あたりの生産コストの削減額 c_p に達しない場合、政府と調達先企業の取引は実行されないと仮定する。その際の政府の総支払額 T_T と調達先企業が生産コストの削減に係る努力に伴う不効用を差し引かない粗利得 Π_T はともにゼロとする。この仮定は各制度において共通に設定する。なお、分析を調達先企業が生産コストの削減のためにどの程度まで努力するかに絞るため、政府及び調達先企業にとって当初の1単位あたりの生産コスト C_B は既知であり、実現した1単位あたりの生産コストの削減額 x は政府にとって観察可能とし、簡略化のため、社会情勢や経済環境の変化がないものと考え、調達数量、生産コストや利益率が変化しないものとし、時間割引もないものとする。

政府及び調達先企業の効用関数を U_p と U_c として、解くべき条件付き最大化問題は次のようになる。制約式の1番目のものは、調達先企業がこの契約に参加するための条件であり、2番目のものは、調達先企業の努力についての期待利得最大化条件であり、インセンティブ両立性条件と呼ばれる。また、本モデルは、確約した1単位あたりの生産コストの削減額 c_p と政府の支払額 T_T を直接表明する仕組みと考えられ、Myerson(1979) で示

された顕示原理より、 c_p を正直に申告した場合の利得を分析することとなる。

$$\max \int_{c_p}^{C_B} U_p(S(Q_T) - (1 + \lambda)T_T)f(x, e)dx \quad (10)$$

$$\text{s.t. } \int_{c_p}^{C_B} [U_c(\Pi_T) - \psi(e)]f(x, e)dx \geq U_c(\alpha C_B Q_T) \quad (11)$$

$$\int_{c_p}^{C_B} U_c(\Pi_T)f_e(x, e)dx = \psi'(e) \quad (12)$$

となる。このモデルのラグランジアンは、未定乗数を μ 及び ν として、

$$\begin{aligned} L = & \int_{c_p}^{C_B} U_p(S(Q_T) - (1 + \lambda)T_T)f(x, e)dx \\ & - \mu \left\{ U_c(\alpha C_B Q_T) - \int_{c_p}^{C_B} U_c(\Pi_T)f(x, e)dx - \psi(e) \right\} \\ & - \nu \left\{ \psi'(e) - \int_{c_p}^{C_B} U_c(\Pi_T)f_e(x, e)dx \right\} \end{aligned} \quad (13)$$

となる。 T_T と e について、一階の条件は、

$$\begin{aligned} & -(1 + \lambda)U_p'(S(Q_T) - (1 + \lambda)T_T)f(x, e) + \mu U_c'(\Pi_T)f(x, e) + \nu U_c'(\Pi_T)f_e(x, e) = 0, \forall x \quad (14) \\ & \int_{c_p}^{C_B} U_p(S(Q_T) - (1 + \lambda)T_T)f_e(x, e)dx + \mu \left\{ \int_{c_p}^{C_B} U_c(\Pi_T)f_e(x, e)dx + \mu\psi'(e) \right\} \\ & \quad - \nu \left\{ \psi''(e) - \int_{c_p}^{C_B} U_c(\Pi_T)f_{ee}(x, e)dx \right\} = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

である。また制約が不等号で与えられていることから、クーン・タッカー条件はさらに次

を課す。

$$\frac{\partial L}{\partial \mu} = -[U_c(\alpha C_B Q_T) - \int_{c_p}^{C_B} U_c(\Pi_T) f(x, e) dx + \psi(e)] \geq 0 \quad (16)$$

$$\mu \geq 0, \mu \frac{\partial L}{\partial \mu} = 0 \quad (17)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \nu} = \int_{c_p}^{C_B} U_c(\Pi_T) f_e(x, e) dx - \psi'(e) = 0. \quad (18)$$

(14) を整理すると、

$$(1 + \lambda) \frac{U'_p(S(Q_T) - (1 + \lambda)T_T)}{U'_c(\Pi_T)} = \mu + \nu \frac{f_e(x, e)}{f(x, e)}, \forall x \quad (19)$$

となる。 α や β_i ($i = 1, \dots, 5$) を変化させることで、 T_T を変化させることができるならば、政府の最大化問題のインセンティブ両立性条件である (12) の最適解を特徴づける式として、(19) を得ることができる。しかし、本節においては、政府によって制度上設定されたそれらの値を所与として、技術提案料、原価改善提案料及びインセンティブ料（確約型）の各制度を評価するため、 T_T を動かすことはできない。よって、以下では (19) を用いずに分析を進める。

また、生産コストの削減に係る努力水準 e と実現する 1 単位あたりの生産コストの削減額 x の間には、努力水準の増加に伴い大きな削減額を実現する確率が増加するように、次の関係が成り立つと仮定する。

$$F_e(x, e) = \int_0^{C_B} f_e(x, e) dx \leq 0 \quad (20)$$

このとき、未定乗数 ν は調達先企業の生産コストの削減に係る努力に関するインセンティブ強度と解釈される。

標準的な契約理論では、エージェントの努力の成果に応じて、プリンシパルがどれくら

いの追加報酬をエージェントに支払うべきかを表すパラメータとしてインセンティブ強度は定義される。本節の表記に対応させると、調達先企業の生産コストの削減に係る努力水準 e の成果としての実現する 1 単位あたりの生産コストの削減額 x に応じて、政府の目的関数の最大化のために α や β_i ($i = 1, \dots, 5$) をどのような値に設定すべきか、そのように設定された契約において、 α と β_i はどのような性質を持つかを考える際にインセンティブ強度が用いられる。しかし、本節においては、 α や β_i が固定されている技術提案料、原価改善提案料及びインセンティブ料（確約型）の各制度が引き出す生産コストの削減に係る努力の大小関係を比較することである。よって、標準的な契約理論におけるインセンティブ強度の定義をそのまま適用することはできない。

他方で、非線形計画法の観点からは、 ν は、政府の最大化問題のインセンティブ両立性条件である (12) において、努力の追加費用 $\psi'(e)$ が外生的に微小変化した場合、その変化が目的関数に与える影響の度合いを表している。ここで、(12) では Q_T と T_T は外生的に決まっており、 C_B と c_p も契約において設定された値であることに注意すると、努力の追加費用 $\psi'(e)$ の外生的微小変化に対応して変化するのは努力水準 e であり、それに伴って確率密度関数 $f(x, e)$ の値が変化することが判る。このとき、(20) より、生産コストの削減に係る努力水準 e が高いほどより大きな 1 単位当たりの生産コストの削減額 x が実現する確率が高まることから、 ν が正の値を取れば、それは e の増加によって x が c_p と C_B の間に値をとる確率が高まることを意味する。このことから、本節では ν をインセンティブ強度と解釈することにした。ただし、本節におけるインセンティブ強度の値そのものは標準的な契約理論における意味を持たず、その大小関係のみを議論する。

繰り返しになるが、政府が目的関数を最大にする問題を考えるのであれば、 α 、 β 、 β_i ($i = 1, \dots, 5$) を変化させることで T_T を変化させるが、本節の目的は、これまでのインセンティブ契約制度の理論的評価であるため、以下の数値計算では T_T は固定される。 Q_T

は問題の設定上固定されており、 Π_T は x に依存して変化する。

以下では、実現した 1 単位あたりの生産コストの削減額 x に関する確率分布 $f(x, e)$ として三角分布及び切断三角分布を用い、政府及び調達先企業はともにリスク中立的、生産コストの削減に係る努力に伴う不効用を $\psi(e) = e^2/2$ として、技術提案料、原価改善提案料及びインセンティブ料（確約型）の各制度におけるインセンティブ強度を計算し、比較する。確率分布として、三角分布と切断三角分布を用いているが、これは、調達先企業が自らが達成しうると考える削減額を確約する 1 単位あたりの生産コストの削減額 c_p として提示すると考えると、その実現する確率が最も高く、そこから遠ざかるほど実現する確率が下がっていくこと、かつ、実現する 1 単位あたりの生産コストの削減額 x に上限下限が存在することを表現するのに適しているためである。なお、実際のインセンティブ料（確約型）が相当に複雑であることから、数式の煩雑化を避け、各制度の比較を容易にするため、確約した 1 単位あたりの生産コストの削減額 c_p を当初の生産コスト C_B の 5% 以下とし、インセンティブ料（確約型）の適用期間は 5 年で、その延長はなく、各料率は 90%、85%、80%、75%、70% が適用されるように設定する。また、実現した 1 単位あたりの生産コストの削減額 x を (12) から、ニュートン・ラフソン法を用いて数値計算で求めている。数値計算の流れは次の通りである。まず、 $e = 1$ に対して、インセンティブ両立性条件に対応する (18) を満たす x をニュートン・ラフソン法を用いて計算する。このとき、(18) を満たす複数の x が存在するが、 x が取りうる範囲 $x(0 \leq x \leq C_B)$ に収まるものをそれに続く計算に用いている。次に、各確率分布と設定された変数の数値において、参加制約に対応する (16) は非ゼロで成立するため、(17) より $\mu = 0$ となることを確かめる。最後に、(15) に $\mu = 0$ と実現した 1 単位あたりの生産コストの削減額 x を代入してインセンティブ強度 ν を求め、それを $S(Q_T)$ の関数として表現する。

3.2.1 三角分布の場合

ここでは、実現する 1 単位あたりの生産コストの削減額 x の確率分布として、最低値 0、最大値 C_B 、最頻値 $2c_p e/(e+1)$ の三角分布を用いる。これは、努力によって、最頻値が大きくなることを想定している。なお、 $e = \infty$ において、最頻値が $2c_p$ になることから、 $2c_p \leq C_B$ を仮定する。各区間の $f(x, e)$ はそれぞれ、

$$f(x, e) = \begin{cases} \frac{x(e+1)}{C_B c_p e} & (0 \leq x < 2c_p e/(e+1)) \\ \frac{2(C_B - x)(e+1)}{C_B(C_B(e+1) - 2c_p e)} & (2c_p e/(e+1) \leq x \leq C_B) \\ 0 & (\text{上記以外}) \end{cases} \quad (21)$$

であり、各区間の $f_e(x, e)$ と $f_{ee}(x, e)$ はそれぞれ、

$$f_e(x, e) = \begin{cases} -\frac{x}{C_B c_p e^2} & (0 \leq x < 2c_p e/(e+1)) \\ \frac{4c_p(C_B - x)}{C_B(C_B(e+1) - 2c_p e)^2} & (2c_p e/(e+1) \leq x \leq C_B) \\ 0 & (\text{上記以外}) \end{cases} \quad (22)$$

$$f_{ee}(x, e) = \begin{cases} \frac{2x}{C_B c_p e^3} & (0 \leq x < 2c_p e/(e+1)) \\ -\frac{8c_p(C_B - x)(C_B - 2c_p)}{C_B(C_B(e+1) - 2c_p e)^3} & (2c_p e/(e+1) \leq x \leq C_B) \\ 0 & (\text{上記以外}) \end{cases} \quad (23)$$

である。ここで、各区間の累積分布関数を考えると、

$$F(x, e) = \begin{cases} 0 & (x < 0) \\ \frac{x^2(e+1)}{2C_B c_p e} & (0 \leq x < 2c_p e/(e+1)) \\ 1 - \frac{(C_B - x)^2(e+1)}{C_B(C_B(e+1) - 2c_p e)} & (2c_p e/(e+1) \leq x \leq C_B) \\ 1 & (x > C_B) \end{cases} \quad (24)$$

であり、各区間の $F_e(x, e)$ は、

$$F_e(x, e) = \begin{cases} 0 & (x < 0) \\ -\frac{x^2}{2C_B c_p e^2} & (0 \leq x < 2c_p e / (e + 1)) \\ -\frac{2c_p (C_B - x)^2}{C_B (C_B (e + 1) - 2c_p e)^2} & (2c_p e / (e + 1) \leq x \leq C_B) \\ 0 & (x > C_B) \end{cases} \quad (25)$$

となり、(20) を満たす。

各変数を表 6 のとおり設定し、(18) の数値計算を行った。なお、 $e = 1$ であるとき、最頻値が c_p となり、それ以下では契約を実施しないことから、用いる $f_e(x, e)$ 及び $f_{ee}(x, e)$ は (22) 及び (23) の中段のものとなる。(18) は、 $A = \alpha C_B Q_T + \sum_{i=1}^k (\beta_i + \alpha) c_p Q_i - (1 + \alpha) c_p Q_T$ 、 $B = 4c_p / (C_B (C_B (e + 1) - 2c_p e)^2)$ として、

$$\int [(A + xQ_T)B(C_B - x)]dx - \psi'(e) = 0$$

$$B(AC_B x - \frac{1}{2}Ax^2 + \frac{1}{2}C_B Q_T x^2 - \frac{1}{3}Q_T x^3) - 1 = 0 \quad (26)$$

である。

各制度において、ニュートン・ラフソン法を用いて、得られた x は、表 7 のとおりである。

表 6 変数設定 (三角分布)

項目	数値
間接税税率 λ	0.1
利益率 α	0.01
料率 (技術提案料及び原価改善提案料) β_i	0.5
料率 (インセンティブ料 (確約型)) β_i	$\beta_1=0.90$
	$\beta_2=0.85$
	$\beta_3=0.80$
	$\beta_4=0.75$
	$\beta_5=0.70$
制度適用期間 k	5
削減前コスト C_B	50
総調達量 Q_T	90
制度適用期間の調達量 Q_i (一定)	10
確約した生産コストの削減額 c_p	1
生産コストの削減に係る努力水準 e	1

表 7 数値計算の結果 (三角分布)

制度	x	初期値	収束回数
技術提案料	7.9693	5	6
原価改善提案料	7.9631	5	6
インセンティブ料 (確約型)	7.7775	5	6

これらの数値の下では (16) が非ゼロになるため、 $\mu = 0$ となり、(15) は、

$$\int [S(Q_T) - (1 + \lambda)T_T] f_e(x, e) dx - \nu \left\{ \psi''(e) - \int \Pi_T f_{ee}(x, e) dx \right\} = 0 \quad (27)$$

となり、 ν について整理すれば、

$$\nu = \frac{\int [S(Q_T) - (1 + \lambda)T_T] f_e(x, e) dx}{\psi''(e) - \int \Pi_T f_{ee}(x, e) dx} \quad (28)$$

となる。また、(28) を $A = \alpha C_B Q_T + \sum_{i=1}^k (\beta_i + \alpha) c_p Q_i - (1 + \alpha) c_p Q_T$ として、整理すれば、

$$\nu = \frac{4c_p(C_B(C_B(e+1) - 2c_p e)) [S(Q_T) - (1 + \lambda)T_T] (C_B x - \frac{1}{2}x^2)}{C_B(C_B(e+1) - 2c_p e)^3 + 8c_p(C_B - 2c_p)(AC_B x - \frac{1}{2}Ax^2 + \frac{1}{2}C_B Q_T x^2 - \frac{1}{3}Q_T x^3)} \quad (29)$$

となり、数値計算で用いた変数とその変数から得られた x から、技術提案料、原価改善提案料及びインセンティブ料（確約型）の各制度の ν を ν_1 、 ν_2 、 ν_3 とし、それぞれ、表 8 のとおり $S(Q_T)$ の関数として評価される。

表 8 各制度の ν （三角分布）

技術提案料 ν_1	$6.1069 \times 10^{-5} S(Q_T) - 0.3009$
原価改善提案料 ν_2	$6.1025 \times 10^{-5} S(Q_T) - 0.3007$
インセンティブ料（確約型） ν_3	$5.9723 \times 10^{-5} S(Q_T) - 0.2953$

各制度の ν は、 $S(Q_T)$ の値によって変化する。それぞれが交わる $S(Q_T)$ を求めると、表 9 であり、各範囲の大小関係を比較すると表 10 及び図 1 となる。

表9 交点の $S(Q_T)$ (三角分布)

	制度の組合せ	$S(Q_T)$
S_1	技術提案料と原価改善提案料	4616.3453
S_2	技術提案料とインセンティブ料（確約型）	4170.5404
S_3	原価改善提案料とインセンティブ料（確約型）	4170.8500

表10 各制度の ν の大小比較（三角分布）

$S < S_1$	$S = S_1$	$S_1 < S < S_2$	$S = S_2$	$S_2 < S < S_3$	$S = S_3$	$S > S_3$
$\nu_3 > \nu_2 > \nu_1$	$\nu_3 > \nu_1 = \nu_2$	$\nu_3 > \nu_1 > \nu_2$	$\nu_1 = \nu_3 > \nu_2$	$\nu_1 > \nu_3 > \nu_2$	$\nu_1 > \nu_2 = \nu_3$	$\nu_1 > \nu_2 > \nu_3$

以上から、次のようにいえる。

命題 1 実現する 1 単位あたりの生産コストの削減額に関する確率分布を三角分布として、その最頻値が調達先企業の確約する 1 単位当たりの生産コストの削減額となるよう努力水準を固定した場合、国民の便益が大きくなるにつれ、インセンティブ強度が最も大きくなる制度がインセンティブ料（確約型）から技術提案料へと変化するため、インセンティブ料（確約型）がインセンティブ強度が最も大きくなる制度とはいえない。

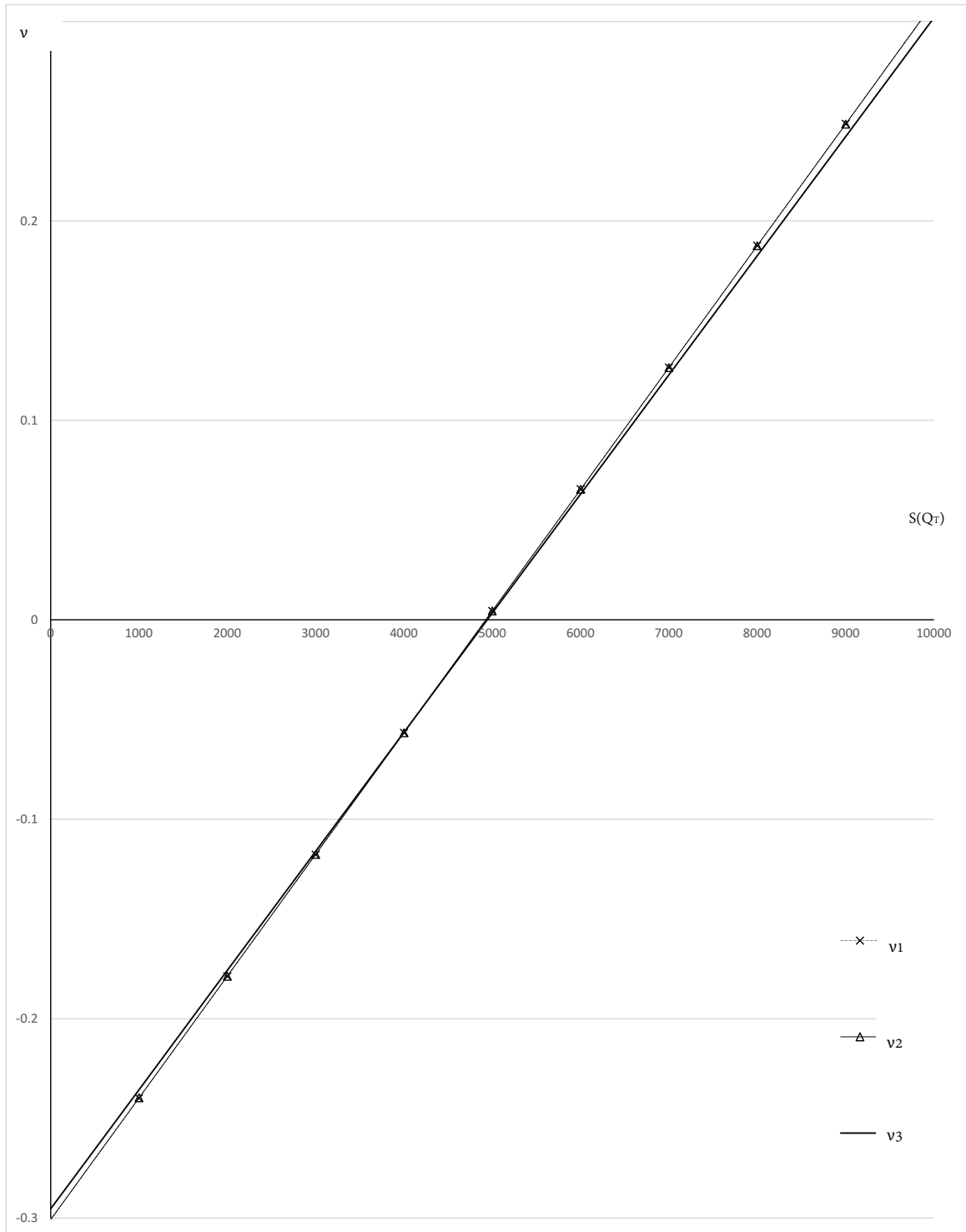


図1 各制度の v の大小比較 (三角分布)

3.2.2 切断三角分布の場合

ここでは、実現する1単位あたりの生産コストの削減額 x の確率分布として、最低値 $2c_p e/(e+1)$ 、最大値 C_B 、最頻値 $2c_p e/(e+1)$ の切断三角分布を用いる。これは、努力によって、最低値及び最頻値大きくなることを想定している。なお、 $e = \infty$ において、最頻値が $2c_p$ になることから、 $2c_p \leq C_B$ を仮定する。各区間の $f(x, e)$ はそれぞれ、

$$f(x, e) = \begin{cases} \frac{2(C_B - x)(e + 1)^2}{(C_B(e + 1) - 2c_p e)^2} & (2c_p e/(e + 1) \leq x \leq C_B) \\ 0 & (\text{上記以外}) \end{cases} \quad (30)$$

であり、上段の区間において、 $f_e(x, e)$ 及び、 $f_{ee}(x, e)$ は、

$$f_e(x, e) = \frac{8c_p(C_B - x)(e + 1)}{(C_B(e + 1) - 2c_p e)^3} \quad (31)$$

$$f_{ee}(x, e) = -\frac{16c_p(C_B - x)(C_B(e + 1) - 2c_p e - 3c_p)}{(C_B(e + 1) - 2c_p e)^4} \quad (32)$$

となる。ここで、この分布の累積分布関数を考えると、

$$F(x, e) = \begin{cases} 0 & (x < 2c_p e/(e + 1)) \\ 1 - \frac{(C_B - x)^2(e + 1)^2}{(C_B(e + 1) - 2c_p e)^2} & (2c_p e/(e + 1) \leq x \leq C_B) \\ 1 & (x > C_B) \end{cases} \quad (33)$$

であり、 $F_e(x, e)$ は、

$$F_e(x, e) = \begin{cases} 0 & (x < 0) \\ -\frac{4c_p(e + 1)(C_B - x)^2}{(C_B(e + 1) - 2c_p e)^3} & (2c_p e/(e + 1) \leq x \leq C_B) \\ 0 & (x > C_B) \end{cases} \quad (34)$$

となり、 $2c_p \leq C_B$ より (34) の分母は正であり、(20) を満たす。

各変数を表 11 のとおり設定し、(18) の数値計算を行った。(18) は、 $A = \alpha C_B Q_T +$

$\sum_{i=1}^k (\beta_i + \alpha)c_p Q_i - (1 + \alpha)c_p Q_T$ 、 $B = 8c_p(e + 1)/((C_B(e + 1) - 2c_p e)^3)$ として、

$$\begin{aligned} \int [(A + xQ_T)B(C_B - x)]dx - \psi'(e) &= 0 \\ B(AC_Bx - \frac{1}{2}Ax^2 + \frac{1}{2}C_BQ_Tx^2 - \frac{1}{3}Q_Tx^3) - 1 &= 0 \end{aligned} \quad (35)$$

である。

各制度において、ニュートン・ラフソン法を用いて、得られた x は、表 12 のとおりである。

これらの数値の下では (16) が非ゼロになるため、 $\mu = 0$ となり、(15) は、

$$\int [S(Q_T) - (1 + \lambda)T_T]f_e(x, e)dx - \nu \left\{ \psi''(e) - \int \Pi_T f_{ee}(x, e)dx \right\} = 0 \quad (36)$$

となり、 ν について整理すれば、

$$\nu = \frac{\int [S(Q_T) - (1 + \lambda)T_T]f_e(x, e)dx}{\psi''(e) - \int \Pi_T f_{ee}(x, e)dx} \quad (37)$$

となる。また、(37) を $A = \alpha C_B Q_T + \sum_{i=1}^k (\beta_i + \alpha)c_p Q_i - (1 + \alpha)c_p Q_T$ として、整理すれば、

$$\nu = \frac{8c_p(e + 1)(C_B(e + 1) - 2c_p e) [S(Q_T) - (1 + \lambda)T_T] (C_Bx - \frac{1}{2}x^2)}{(C_B(e + 1) - 2c_p e)^4 + 16c_p(C_B(e + 1) - 2c_p e - 3c_p)(AC_Bx - \frac{1}{2}Ax^2 + \frac{1}{2}C_BQ_Tx^2 - \frac{1}{3}Q_Tx^3)} \quad (38)$$

となり、数値計算で用いた変数とその変数から得られた x から、技術提案料、原価改善提案料及びインセンティブ料（確約型）の各制度の ν を ν_1 、 ν_2 、 ν_3 とし、それぞれ、表 13 のとおり $S(Q_T)$ の関数として評価される。

表 11 変数設定 (切断三角分布)

項目	数値
間接税税率 λ	0.1
利益率 α	0.01
料率 (技術提案料及び原価改善提案料) β_i	0.5
料率 (インセンティブ料 (確約型)) β_i	$\beta_1=0.90$
	$\beta_2=0.85$
	$\beta_3=0.80$
	$\beta_4=0.75$
	$\beta_5=0.70$
制度適用期間 k	5
削減前コスト C_B	50
総調達量 Q_T	90
制度適用期間の調達量 Q_i (一定)	10
確約した生産コストの削減額 c_p	1
生産コストの削減に係る努力水準 e	1

表 12 数値計算の結果 (切断三角分布)

制度	x	初期値	収束回数
技術提案料	5.5559	5	5
原価改善提案料	5.5497	5	5
インセンティブ料 (確約型)	5.3681	5	5

表 13 各制度の ν (切断三角分布)

技術提案料 ν_1	$2.2647 \times 10^{-3} S(Q_T) - 11.1582$
原価改善提案料 ν_2	$2.2623 \times 10^{-3} S(Q_T) - 11.1478$
インセンティブ料 (確約型) ν_3	$2.1925 \times 10^{-3} S(Q_T) - 10.8398$

各制度の ν は、 $S(Q_T)$ の値によって変化する。それぞれが交わる $S(Q_T)$ を求めると、表 14 であり、各範囲の大小関係を比較すると表 15 及び図 2 となる。

表 14 交点の $S(Q_T)$ (切断三角分布)

	制度の組合せ	$S(Q_T)$
S_1	技術提案料と原価改善提案料	4400.2717
S_2	技術提案料とインセンティブ料 (確約型)	4409.2698
S_3	原価改善提案料とインセンティブ料 (確約型)	4409.5742

表 15 各制度の ν の大小比較 (切断三角分布)

$S < S_1$	$S = S_1$	$S_1 < S < S_2$	$S = S_2$	$S_2 < S < S_3$	$S = S_3$	$S > S_3$
$\nu_3 > \nu_2 > \nu_1$	$\nu_3 > \nu_1 = \nu_2$	$\nu_3 > \nu_1 > \nu_2$	$\nu_1 = \nu_3 > \nu_2$	$\nu_1 > \nu_3 > \nu_2$	$\nu_1 > \nu_2 = \nu_3$	$\nu_1 > \nu_2 > \nu_3$

以上から、次のようにいえる。

命題 2 実現する 1 単位あたりの生産コストの削減額に関する確率分布を切断三角分布とし、その最頻値及び最低値が調達先企業の確約する 1 単位当たりの生産コストの削減額となるよう努力水準を固定した場合、国民の便益が大きくなるにつれ、インセンティブ強度が最も大きくなる制度がインセンティブ料 (確約型) から技術提案料へと変化するため、インセンティブ料 (確約型) がインセンティブ強度が最も大きくなる制度とはいえない。

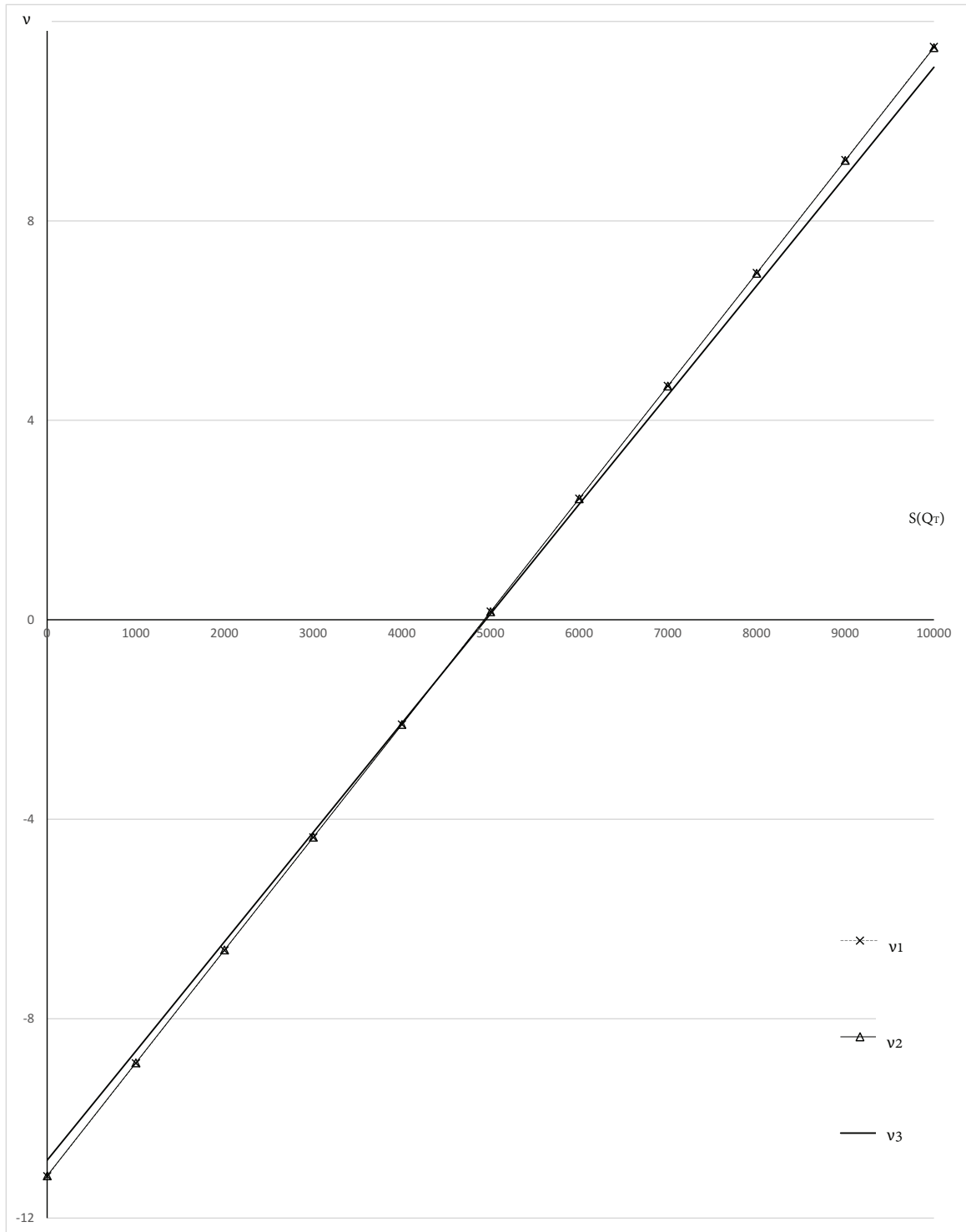


図 2 切断三角分布における各制度の ν の大小比較

3.2.3 本節のまとめ

本節において、これまでのインセンティブ契約制度のインセンティブ強度について、実現する1単位あたりの生産コストの削減額の確率分布を特定して比較した。その結果、いずれの確率分布を用いても、インセンティブ強度が国民の便益の関数として表され、用いた確率分布によってその閾値が異なるものの、国民の便益の大きさによって、インセンティブ強度が最も大きくなる制度が変わっていくことが示された。これまでの制度変更は、制度変更によって一概にインセンティブ強度を増大させたとはいえず、生産コストの削減に係る努力を誘引する目的に合致した制度変更であったとは明確にはいえない。他方で、仮に国民の便益や生産コストの削減額に関する確率分布を把握できれば、最も高いインセンティブ強度を与える契約を提案できると考えられる。

また、国民の便益によってインセンティブ強度が変化する要因について検討する。国民の便益が大きい場合、政府の支払額も大きいことが考えられ、支払額が大きいということは生産コストも大きくなり、達成しうる削減額も大きくなると考えられる。一方で調達先企業が大きな削減額を達成するためには、大きな努力を要することとなり、努力して得られるインセンティブでは努力に伴う不効用を賄うことが困難になり、努力して得られるインセンティブよりも利益率として貰う利益額が調達先企業にとってより魅力的になるものと考えられる。他方で、国民の便益が小さい場合、支払額も小さいことが考えられ、支払額が小さいということは生産コストも小さくなり、達成しうる削減額も小さくなると考えられる。その場合、利益額が小さくなるものの、小さな削減額は小さな努力で達成しうるため、その小さな努力に伴う不効用をインセンティブが賄いやすくなり、料率等が大きいインセンティブがより魅力的となると考えられる。

4 調達先企業に正直申告をもたらし、生産コストの削減に係る努力を引き出す契約の検討

ここでは、随意契約によって調達される防衛装備品を検討の対象として、調達先企業が有する生産コストに関するパラメータや生産コストの削減に係る努力水準といった情報が観察できない場合において、調達先企業に正直申告をもたらしつつ、防衛装備品の生産コストの削減に係る努力を引き出す契約について検討する。

4.1 モデルの設定

Laffont(1993)を参考にモデルを設定する。政府が独占的な調達先企業からある防衛装備品を調達する場合を想定し、政府の目的は、この防衛装備品の調達において、社会全体の利得を最大化、つまり国民の総余剰と企業の利得の合計の最大化を目的とする。国民が調達によって得る効用を $S(q)$ 、企業への支払額を T とする。間接税の税率 λ を用いて、公的資金の機会費用は $(1 + \lambda)T$ とする。国民の総余剰は $S(q) - (1 + \lambda)T$ となる。他方で、調達先企業はこの契約で得る効用の最大化を目的とする。調達先企業の生産コストに関するパラメータ β と生産コストの削減に係る努力水準 e 、防衛装備品の調達数量 q を用いて、調達先企業の生産コストを $C = (\beta - e)q$ として表す。また、この生産コストの削減に係る努力は調達先企業に対して不効用 $\psi(e)$ を伴い、 $\psi' > 0, \psi'' < 0, \psi''' > 0$ を仮定する。調達先企業の契約による利得 π は、 $\pi = T - C - \psi$ となる。政府及び調達先企業の効用関数を U_p 及び U_c とすれば、政府の目的は、

$$U_p(S(q) - (1 + \lambda)T + \pi) \quad (39)$$

の最大化であり、調達先企業の参加制約は、企業の留保効用を \bar{u} とすれば、

$$U_c(\pi) \geq \bar{u} \quad (40)$$

となる。なお、以下では政府及び調達先企業はリスク中立的であり、留保効用 $\bar{u} = 0$ として検討する。すなわち、政府の目的関数は、 $T = \pi + cq + \psi(e)$ より、

$$\begin{aligned} S(q) - (1 + \lambda)T + T - C - \psi(e) &= S(q) - (1 + \lambda)(\pi + cq + \psi(e)) + \pi \\ &= S(q) - (1 + \lambda)(cq + \psi(e)) - \lambda\pi \end{aligned} \quad (41)$$

であり、調達先企業の参加制約は、

$$T - C - \psi(e) \geq 0 \quad (42)$$

である。

4.1.1 完備情報の場合

まず、政府が調達先企業の有する β 及び e を観察可能とする完備情報の場合を検討する。(41) の最大化問題の条件は、 q, e に関する一階の条件と、 $\lambda > 0$ であるから、(42) は等号で成り立たなければならないことから、

$$S'(q) = (1 + \lambda)(\beta - e) \quad (43)$$

$$\psi'(e) = q \quad (44)$$

$$T = C + \psi(e) \quad (45)$$

となり、調達先企業が有する生産コストに関するパラメータや生産コストの削減に係る努力水準といった情報が観察可能である場合、調達先企業が生産コストと生産コストの削減に係る努力に伴う不効用を保証する契約が最善契約となる。この契約の概形は 3.2 で検討

した契約の概形である (1)、(3)、(5) と異なっている。生産コストに関するパラメータ β は 3.1 の C_B のパラメータであると考えれば、 C_B を観察することを通じて β は観察できると考えられる。他方で、3.1 では e が観察できないことから、調達先企業の不効用 $\psi(e)$ を観察できない。そのため、(1)、(3)、(5) の第 2 項は観察できない $\psi(e)$ を技術提案料等で代替した契約の形態と考えられ、そのため、完備情報の場合の契約の概形と異なっている。

4.1.2 不完備情報の場合

政府は調達先企業が有する情報を正確には知らない、つまり、 β を知らず、 e を観察できない不完備情報の場合を検討する。ただし、 β は、区間 $[\underline{\beta}, \bar{\beta}]$ で一様分布に従っていることを知っており、 $\bar{\beta} - \underline{\beta} = 1$ と基準化されているものとする。また、政府は事後的に生産コスト C を観察するものとする。防衛装備品 1 単位あたりの生産コストは $c = C/q$ と表す。つまり、 $c = \beta - e$ である。この記法を使うと、調達先企業が最大化する関数は、

$$\pi(\hat{\beta}) = T(\hat{\beta}) - c(\hat{\beta})q(\hat{\beta}) - \psi(\beta - c(\hat{\beta})) \quad (46)$$

と表せる。ここで、 β は真の値であり、 $\hat{\beta}$ は調達先企業が生産コストの申告に用いる値である。調達先企業の目的が利得の最大化であることから、 $\hat{\beta}$ で調達先企業の利得 π は最大になっていないければならないので、 $d\pi(\hat{\beta})/d\hat{\beta} = 0$ より、

$$\frac{dT}{d\hat{\beta}} = \frac{d}{d\hat{\beta}}(cq) - \psi' \frac{dc}{d\hat{\beta}} \quad (47)$$

である。1 単位あたり生産コスト c 、生産量 q 、これらに応じた政府からの支払額 T を直接表明させる仕組み (メカニズム) において、調達先企業が真の値 β に基づいて正直に申告するとすれば、直接表明ゲームのベイズ均衡では、Myerson(1979) で示された顕示原理

より、(47) が $\hat{\beta} = \beta$ の時に満たされているので、

$$\frac{dT}{d\beta} = \frac{d}{d\beta}(cq) - \psi' \frac{dc}{d\beta} \quad (48)$$

と書き直す。(46) は、調達先企業の生産コストに関するパラメータの真の値 β が微小に変化したとき、 $\pi(\beta) = T(\beta) - c(\beta)q(\beta) - \psi(\beta - c(\beta))$ は最大化されるはずなので、

$$\dot{\pi} = -\psi'(\beta - c) \quad (49)$$

となる。つまり、(48) が包絡面の性質 (envelop property) を保証しているので、 $\pi(\beta)$ の最大化においては、真の値 β の $\pi(\beta)$ に対する直接的影響のみを考えればよい。なお、 $\dot{\pi}$ は β に関する微分を表しているが、動学的最適化問題では時間に関する微分であり、これに続く計算において、動学的最適化問題の技法 (ポントリャーギンの最大値原理) を用いるので、それに合わせた記法としている。なお、(46) より、 π は β に関する減少関数なので、 $\bar{\beta}$ に対してのみ、参加制約を課せばよいことになる。

政府の目的関数は、(41) であり、政府の最大化問題は、調達先企業の生産コストに関するパラメータ β について、

$$\begin{aligned} \max \int_{\underline{\beta}}^{\bar{\beta}} [S(q) - (1 + \lambda)(cq + \psi(\beta - c)) - \lambda\pi] d\beta \\ \text{s.t. } \dot{\pi} = -\psi'(\beta - c) \\ \pi(\bar{\beta}) = 0 \end{aligned} \quad (50)$$

と定式化される。

この問題のハミルトニアン (ハミルトン関数) は、 μ を未定乗数とすると

$$H = S(q) - (1 + \lambda)(cq + \psi(\beta - c)) - \lambda\pi - \mu\psi'(\beta - c) \quad (51)$$

である。ポントリヤーギンの最大値原理より、

$$\dot{\mu} = -\frac{\partial H}{\partial \pi} = \lambda \quad (52)$$

$$S'(q) = (1 + \lambda)c \quad (53)$$

$$\mu\psi''(\beta - c) = (1 + \lambda)q - (1 + \lambda)\psi'(\beta - c) \quad (54)$$

$$\mu(\underline{\beta}) = 0 \quad (55)$$

を満たす μ, q, c を求める。

(53) と (54) がそれぞれ、 $\partial H/\partial q = 0$ と $\partial H/\partial c = 0$ から導かれており、(55) は横断条件である。(52) の $\dot{\mu} = \lambda$ の両辺を積分し、境界条件として (55) を使うと、 $\mu = \lambda(\beta - \underline{\beta})$ となるので、(52) から (55) は次のようにまとめられ、

$$S'(q) = (1 + \lambda)c \quad (56)$$

$$\lambda(\beta - \underline{\beta})\psi''(\beta - c) = (1 + \lambda)q - (1 + \lambda)\psi'(\beta - c) \quad (57)$$

となり、この2式から q と c を求めることができる。

これらの解に対する政府の支払スキームは (48) より求められる。 $c = C/q$ より、 $dc = (dCq - dqC)/q^2 = dC/q - (dq/q)c$ なので、(48) は

$$\frac{dT}{d\beta} = \frac{dC}{d\beta} - \frac{\psi'}{q} \frac{dC}{d\beta} + \frac{\psi'c}{q} \frac{dq}{d\beta} \quad (58)$$

と書き換えられる。

(50) から境界条件は

$$\pi(\bar{\beta}) = T(\bar{\beta}) - c(\bar{\beta})q(\bar{\beta}) - \psi(\bar{\beta} - c(\bar{\beta})) = 0 \quad (59)$$

であり、

$$k(\beta) = \frac{\psi'}{q} \quad (60)$$

として、(58) を解くと、

$$T(\beta) = (1 - k(\beta))C(\beta) + F(\beta) \quad (61)$$

と書くことができる。(1 - k(β))C(β) を β で微分すると

$$\frac{dC}{d\beta} - \frac{dk(\beta)}{d\beta}C - k(\beta)\frac{dC}{d\beta} \quad (62)$$

なので、(61) を微分して、(58) を得るには、

$$F(\beta) = \int [k(\beta)c \frac{dq}{d\beta} + \frac{dk(\beta)}{d\beta}C] d\beta \quad (63)$$

でなければならない。

c と q に基づいた支払額 T を直接表明するメカニズムであることから、調達先企業が申告したコスト $C^r(\beta)$ として、それに対する支払額 $G(\beta)$ は、(61) から

$$G(\beta) = (1 - k(\beta))C^r(\beta) + F(\beta) \quad (64)$$

であり、(61) と (64) を整理すれば、政府の支払額は、

$$T(\beta) = (1 - k(\beta)) (C(\beta) - C^r(\beta)) + G(\beta) \quad (65)$$

となり、次のようにいえる。

命題 3 政府及び調達先企業がリスク中立的である場合、調達先企業に生産コストの削減に係る努力を促し、削減した生産コストを正直に申告させる契約の概形は、一定の報酬額

を与え、調達先企業に生産コストを申告させ、その生産コストの一定割合を保証するとともに、政府が事後観察した生産コストと申告させた生産コストとの差額の一定割合を加算する概形となる。

なお、調達先企業の実際の技術水準 β が非常に良いもの、つまり、 $\underline{\beta}$ であるならば、(57) の左辺が 0 となるので、

$$\psi'(\beta - c) = q \quad (66)$$

であり、このとき、 $k(\underline{\beta}) = \psi'/q = 1$ である。よって、

$$\begin{aligned} T(\underline{\beta}) &= G(\underline{\beta}) = F(\underline{\beta}) + (1 - k(\underline{\beta}))C^r(\underline{\beta}) \\ &= F(\underline{\beta}) \end{aligned} \quad (67)$$

となる。この場合、 $F(\underline{\beta}) = 0$ であるので、 $T(\underline{\beta}) = 0$ となる。そのため、 $C \geq 0$ とすると調達先企業の参加制約 $T - C - \psi(e) \geq 0$ は満たされず、契約は成立しない。つまり、調達先企業に生産コストを正直に申告させる契約は参加制約を満たさない。また、(56) を書き直すと、 $S'(q) = (1 + \lambda)(\beta - e)$ であり、 β が増加した場合においてもこの等式の成立を維持するためには、左辺の $S'(q)$ も増加する必要がある。ハミルトニアン最大化のための二階の条件は、一階の条件を満たす c, q において極大値を持つことであると考えれば、ハミルトニアンのヘッセ行列 $H(H)$ が負定値対象行列であることが求められる。ハミル

トニアンのヘッセ行列は、

$$\begin{aligned}
 H(H) &= \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 H}{\partial q^2} & \frac{\partial^2 H}{\partial q \partial c} \\ \frac{\partial^2 H}{\partial c \partial q} & \frac{\partial^2 H}{\partial c^2} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} S''(q) & -(1+\lambda) \\ -(1+\lambda) & -(1+\lambda)\psi'' - \mu\psi''' \end{bmatrix} \tag{68}
 \end{aligned}$$

となり、シルベスタの定理より、 $S''(q) < 0$ でなければならないので、防衛装備品の供給量 q の増加に伴う国民の便益の増加分 $S'(q)$ は逡減する。よって、 β が増加するとき、 q は低下する。よって、4.2 以降では、

$$\beta \geq e \tag{69}$$

$$q'(\beta) < 0 \tag{70}$$

を仮定し、 $\beta > \underline{\beta}$ での検討を行う。

4.2 ノイズを伴う生産コストを観察する場合

(65) から、調達先企業が申告する生産コスト $C^r(\beta)$ について、正直申告を導くには、政府と調達先企業双方が観察可能な指標 $C(\beta)$ との乖離を計測する必要があるが、この指標が実際の生産コストではない状況を考える。ここでは、観察する生産コストにノイズが加わった値が実際の生産コストの指標として観察される場合について検討する。つまり、4.1.2 のモデルにおいて、生産コストにノイズ ϵ を加えた

$$C = (\beta - e)q + \epsilon \tag{71}$$

が観察されるものとなる。以下では、ノイズの確率密度関数を $f(\epsilon)$ で表すこととし、 ϵ の
 上端と下端は省略する。

4.2.1 政府及び調達先企業がリスク中立的である場合

4.1.2 では、政府の最大化問題は (50) と定式化されていた。観察する生産コストにノイズ
 を考慮した場合、政府の最大化問題は、ノイズの確率密度関数 $f(\epsilon)$ を用いて、

$$\begin{aligned} \max \int_{\underline{\beta}}^{\bar{\beta}} \int [S(q) - (1 + \lambda)(cq + \psi(\beta - c)) - \lambda\pi] f(\epsilon) d\epsilon d\beta \\ \text{s.t. } \dot{\pi} = -\psi'(\beta - c) \\ \pi(\bar{\beta}) = 0 \end{aligned} \quad (72)$$

と書き換えられる。

この問題のハミルトニアン（ハミルトン関数）は、 μ を未定乗数とすると、

$$H = \int [S(q) - (1 + \lambda)(cq + \psi(\beta - c)) - \lambda\pi] f(\epsilon) d\epsilon - \mu\psi'(\beta - c) \quad (73)$$

である。ポントリャーギンの最大値原理より、

$$\dot{\mu} = -\frac{\partial H}{\partial \pi} = \lambda \quad (74)$$

$$S'(q) = (1 + \lambda) \int cf(\epsilon) d\epsilon \quad (75)$$

$$\mu\psi'' = \int [(1 + \lambda)q - (1 + \lambda)\psi'] f(\epsilon) d\epsilon \quad (76)$$

$$\mu(\underline{\beta}) = 0 \quad (77)$$

を満たす μ 、 q 、 c を求める。

(74) より、両辺を β で積分すると、 $\mu = \lambda(\beta - \underline{\beta})$ がえられることから、(75) から

(76) は

$$S'(q) = (1 + \lambda) \int cf(\epsilon)d\epsilon \quad (78)$$

$$\lambda(\beta - \underline{\beta})\psi'' = \int [(1 + \lambda)q - (1 + \lambda)\psi']f(\epsilon)d\epsilon \quad (79)$$

とまとめられる。ノイズを伴わない生産コストを観察する場合の (56) 及び (57) と比較すると、ノイズが影響することが示される。

他方で、調達先企業の効用は、4.1.2 と同様であるから、

$$\frac{dT}{d\beta} = \frac{d}{d\beta}(cq) - \psi' \frac{dc}{d\beta} \quad (80)$$

が得られ、ノイズを伴わない生産コストを観察する場合の (48) と変わらないことから、政府及び調達先企業がリスク中立的であり、ノイズを伴う生産コストを観察する場合の契約の概形は、政府及び調達先企業がリスク中立的であり、ノイズを伴わない生産コストを観察する場合と同様となる。

4.2.2 政府がリスク回避的である場合

ノイズを伴う生産コストを観察し、政府がリスク回避的で、調達先企業がリスク中立的である場合について検討する。ここでは一例として相対的リスク回避度一定の評価関数を扱う。相対的リスク回避度一定の評価関数の中で最も単純なものは、

$$u = x^\alpha \quad (81)$$

の形をしたものである。ここで、 x は所得、 $1 - \alpha$ ($0 < \alpha < 1$) は相対的リスク回避度、 u はリスク回避的な意思決定者による所得 x の評価である。調達先企業はリスク中立的で

あるので、 $\dot{\pi} = -\psi'(\beta - c) < 0$ は変わらない。政府の最大化問題は

$$\begin{aligned} \max \int_{\underline{\beta}}^{\bar{\beta}} \int [S(q) - (1 + \lambda)(cq + \psi(\beta - c)) - \lambda\pi]^\alpha f(\epsilon) d\epsilon d\beta \\ \text{s.t. } \dot{\pi} = -\psi'(\beta - c) \\ \pi(\bar{\beta}) = 0 \end{aligned} \quad (82)$$

と書き換えられる。

この問題のハミルトニアンは、 μ を未定乗数とすると、

$$H = \int [S(q) - (1 + \lambda)(cq + \psi(\beta - c)) - \lambda\pi]^\alpha f(\epsilon) d\epsilon - \mu\psi'(\beta - c) \quad (83)$$

である。ポントリャーギンの最大値原理より、 $X = [S(q) - (1 + \lambda)(cq + \psi(\beta - c)) - \lambda\pi] \neq 0$ として、

$$\dot{\mu} = -\frac{\partial H}{\partial \pi} = \int \alpha X^{\alpha-1} f(\epsilon) d\epsilon \cdot \lambda \quad (84)$$

$$0 = \frac{\partial H}{\partial q} = \int \alpha X^{\alpha-1} (S'(q) - (1 + \lambda)c) f(\epsilon) d\epsilon \quad (85)$$

$$0 = \frac{\partial H}{\partial c} = \int \alpha X^{\alpha-1} (-(1 + \lambda)(q - \psi'(\beta - c))) f(\epsilon) d\epsilon + \mu\psi''(\beta - c) \quad (86)$$

$$\mu(\underline{\beta}) = 0 \quad (87)$$

を満たす μ 、 q 、 c を求める。

(85) 及び (86) を整理すれば、

$$S'(q) = (1 + \lambda) \frac{\int \alpha X^{\alpha-1} c f(\epsilon) d\epsilon}{\int \alpha X^{\alpha-1} f(\epsilon) d\epsilon} \quad (88)$$

$$\mu\psi''(\beta - c) = \int \alpha X^{\alpha-1} ((1 + \lambda)(q - \psi'(\beta - c))) f(\epsilon) d\epsilon \quad (89)$$

が得られ、(75) 及び (76) と比較すれば、政府がリスク回避的であることが影響することが示される。

なお、ノイズを伴わない生産コストを観察する場合と同様に、(84) を積分したいが、 ψ の関数形が特定されていないため、たとえ ϵ が一様分布していたとしても、置換積分の公式を直裁に適用できない。他方で、(86) を μ で整理し、 β で微分すると、

$$\begin{aligned}\dot{\mu} &= \frac{(1+\lambda)}{\psi''(\beta-c)^2} \int \alpha X^{\alpha-1} (q - \psi'(\beta-c)) f(\epsilon) d\epsilon \\ &+ \frac{(1+\lambda)}{\psi''(\beta-c)} \int \alpha(\alpha-1) X^{\alpha-2} (q - \psi'(\beta-c)) \psi'(\beta-c) f(\epsilon) d\epsilon \\ &- \frac{(1+\lambda)}{\psi''(\beta-c)} \int \alpha X^{\alpha-1} \psi''(\beta-c) f(\epsilon) d\epsilon\end{aligned}\quad (90)$$

となり、これが (84) と等しくなる。

また、調達先企業の効用は、4.1.2 と同様であるから、

$$\frac{dT}{d\beta} = \frac{d}{d\beta}(cq) - \psi' \frac{dc}{d\beta}\quad (91)$$

が得られ、ノイズを伴わない生産コストを観察する場合の (48) と変わらないことから、政府がリスク回避的で、調達先企業がリスク中立的であり、ノイズを伴う生産コストを観察する場合の契約の概形は、政府及び調達先企業がリスク中立的であり、ノイズを伴わない生産コストを観察する場合と同様となる。

4.2.3 調達先企業がリスク回避的である場合

ノイズを伴う生産コストを観察し、政府がリスク中立的であり、調達先企業がリスク回避的であるとした場合を検討する。調達先企業が最大化する期待効用 $U_c(\hat{\beta})$ は、

$$U_c(\hat{\beta}) = \int [T(\hat{\beta}) - c(\hat{\beta})q(\hat{\beta}) - \psi(\beta - c(\hat{\beta}))]^\alpha f(\epsilon) d\epsilon\quad (92)$$

で与えられ、 β の微小に変化したとき、最大化されるので、

$$\dot{U}_c(\hat{\beta}) = \int \alpha [T - cq - \psi(\beta - c)]^{\alpha-1} \psi'(\beta - c) f(\epsilon) d\epsilon\quad (93)$$

となる。政府の最大化問題は、

$$\begin{aligned}
& \max \int_{\underline{\beta}}^{\bar{\beta}} \int [S(q) - (1 + \lambda)(cq + \psi(\beta - c)) - \lambda\pi] f(\epsilon) d\epsilon d\beta \\
& \text{s.t. } \dot{U}_c(\hat{\beta}) = \int \alpha [T - cq - \psi(\beta - c)]^{\alpha-1} \psi'(\beta - c) f(\epsilon) d\epsilon \\
& \quad U_c(\bar{\beta}) = 0
\end{aligned} \tag{94}$$

と書き換えられる。

この問題のハミルトニアンは、 μ を未定乗数、 $Y = [T - cq - \psi(\beta - c)] \neq 0$ として、

$$H = \int [S(q) - (1 + \lambda)(cq + \psi(\beta - c)) - \lambda\pi] f(\epsilon) d\epsilon - \mu \int \alpha Y^{\alpha-1} \psi'(\beta - c) f(\epsilon) d\epsilon \tag{95}$$

である。ポントリャーギンの最大値原理より、

$$\dot{\mu} = -\frac{\partial H}{\partial \pi} = \lambda \tag{96}$$

$$\begin{aligned}
0 = \frac{\partial H}{\partial q} &= \int [S'(q) - (1 + \lambda)c] f(\epsilon) d\epsilon \\
&+ \mu \int \alpha(\alpha - 1) Y^{\alpha-2} \psi'(\beta - c)(c) f(\epsilon) d\epsilon
\end{aligned} \tag{97}$$

$$\begin{aligned}
0 = \frac{\partial H}{\partial c} &= \int (1 + \lambda)(\psi'(\beta - c) - q) f(\epsilon) d\epsilon \\
&- \mu \int \alpha(\alpha - 1) Y^{\alpha-2} \psi'(\beta - c)(\psi'(\beta - c) - q) f(\epsilon) d\epsilon \\
&+ \mu \int \alpha Y^{\alpha-1} \psi''(\beta - c) f(\epsilon) d\epsilon
\end{aligned} \tag{98}$$

$$\mu(\underline{\beta}) = 0 \tag{99}$$

を満たす μ 、 q 、 c を求める。

一部表記を簡略化して、(97) 及び (98) を整理すれば、

$$S'(q) = \int (1 + \lambda)cf(\epsilon)d\epsilon - \mu \int \alpha(\alpha - 1)Y^{\alpha-2}c\psi'f(\epsilon)d\epsilon \quad (100)$$

$$\mu \int \alpha Y^{\alpha-1}\psi''f(\epsilon)d\epsilon = \mu \int \alpha(\alpha - 1)Y^{\alpha-2}\psi'(\psi' - q)f(\epsilon)d\epsilon - \int (1 + \lambda)(\psi' - q)f(\epsilon)d\epsilon \quad (101)$$

となり、(75) 及び (76) と比較すれば、調達先企業がリスク回避的であることが影響することが示される。

また、ノイズを伴わない生産コストを観察する場合と同様に、 c 、 q 、 T を直接表明させるメカニズムにおいて、調達先企業が真実の生産コストに関するパラメータについて、 $\hat{\beta}$ に基づき申告するとき $U_c(\hat{\beta})$ の最大化条件は、 $dU_c(\hat{\beta})/d\hat{\beta} = 0$ より、

$$\frac{dU_c(\hat{\beta})}{d\hat{\beta}} = \int \alpha [T(\hat{\beta}) - c(\hat{\beta})q(\hat{\beta}) - \psi(\beta - c(\hat{\beta}))]^{\alpha-1} \left(\frac{dT}{d\hat{\beta}} - \frac{d}{d\hat{\beta}}(cq) + \psi' \frac{dc}{d\hat{\beta}} \right) f(\epsilon) d\epsilon = 0 \quad (102)$$

が得られる。(102) のうち、 $T(\hat{\beta}) - c(\hat{\beta})q(\hat{\beta}) - \psi(\beta - c(\hat{\beta})) \neq 0$ であれば、 $dT/d\hat{\beta} - d/d\hat{\beta}(cq) + \psi' dc/d\hat{\beta} = 0$ である必要がある。ノイズを伴わない生産コストを観察する場合と同様に、真の値を正直に申告するとすると、顕示原理より、

$$\frac{dT}{d\beta} = \frac{d}{d\beta}(cq) - \psi' \frac{dc}{d\beta} \quad (103)$$

となり、ノイズを伴わない生産コストを観察する場合の (48) と変わらないことから、政府がリスク中立的で、調達先企業がリスク回避的であり、ノイズを伴う生産コストを観察する場合の契約の概形は、政府及び調達先企業がリスク中立的であり、ノイズを伴わない生産コストを観察する場合と同様となる。

4.2.4 本節のまとめ

本節においては、ノイズを伴う生産コストが観察され、政府と調達先企業がリスク中立的又はそれぞれがリスク回避的となった場合に、前節で検討した調達先企業に生産コストの削減に係る努力を促し、削減した生産コストを正直に申告させる契約の概形にどのような影響を与えるかを検討した。その結果、次のようにいえる。

命題 4 ノイズを伴う生産コストを観察し、政府と調達先企業がリスク中立的又はそれぞれがリスク回避的となった場合であっても、政府と調達先企業がリスク中立的で、ノイズを伴わない生産コストを観察する場合と同様の契約の概形となる。

5 まとめ

本研究では、厳しい日本国の財政状況において、近年増加傾向にある防衛関係費のうち防衛装備品の調達に関して、調達先企業の努力による生産コストの削減に係る努力を促す制度として創設されたインセンティブ契約制度（旧減価提案制度）に注目し、これまでのインセンティブ契約制度及びその制度変更について理論モデルを用いて評価した。これまでの制度変更は、企業の参加制約を緩和させる効果があったといえるものの、防衛装備品の生産コストの削減に係る努力を促すという目的に合致する制度変更とは明確にいえなかったことを示した。また、競争による調達先企業の決定がなじまず、随意契約によって調達される防衛装備品を検討の対象として、調達先企業に正直申告をもたらしつつ、防衛装備品の生産コストの削減に係る努力を引き出す契約の概形を検討した。そのような契約は、調達先企業に一定の報酬を与え、調達先企業が申告した生産コストの一定割合を保証するとともに、政府が事後観察する生産コストと調達先企業が申告した生産コストの差額を加算する形態であることを示した。この契約の概形は、ノイズを伴う生産コストが事後観察さ

れ、また、政府又は調達先企業いずれかがリスク回避的であっても、最大化の条件は異なるものの、変わらないことを示した。なお、本研究において、防衛装備品の調達によって得られる国民の便益を調達数量の関数としているが、具体的な形は示せておらず、本研究の結果を活かす上での課題となっている。例えば、防衛装備品を調達しなかった場合の損害の大きさやその発生確率を推定し、その期待値を調達数量によって減じる幅で国民の便益を見積るようなことが考えられるが、今後更なる検討を要する。

謝辞

本論分は、筆者が慶應義塾大学大学院経営管理研究科修士課程に在籍中の研究成果をまとめたものである。渡邊直樹先生には、指導教員として本研究の実施の機会を与えていただくとともに、今年度は新型コロナウイルス感染症の影響もあり、常にはない制約や新しいやり方を模索せざるを得ない中、終始ご指導をいただいた。ここに感謝の意を表す。太田康広先生、後藤励先生には副指導教員として、ご助言をいただくとともに、本論文の細部にわたりご指導いただいた。ここに感謝の意を表す。また、防衛装備庁調達管理部長、同部原価管理官及び付職員の皆様には、企業派遣として同課程に送り出していただくとともに、防衛装備品の調達に関する情報を提供していただいた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 財務省 (2020) 「日本の財政関係資料」, 令和 2 年 7 月
https://www.mof.go.jp/budget/fiscal_condition/related_data/202007_00.pdf*4
- [2] 須賀晃一 (2014) 「公共経済学講義 (理論から政策へ)」, 有斐閣, 平成 26 年 6 月
- [3] 防衛省 (2020a) 「防衛白書 (日本の防衛) - 令和 2 年版 -」, 令和 2 年 8 月
https://www.mod.go.jp/j/publication/wp/wp2020/w2020_00.html*4
- [4] 防衛省 (2020b) 「契約制度研究会報告書の概要」, 平成 22 年 8 月
https://www.mod.go.jp/j/approach/agenda/meeting/materials/keiyaku_seido/houkoku/pdf/01/05.pdf*4
- [5] 防衛省 装備施設本部 (2020a) 「新インセンティブ契約制度の概要」, 平成 20 年 10 月
detcn-wisdom.jp/00001-H20-10-1-shin-innsentive-seido.pdf*4
- [6] 防衛省 装備施設本部 (2020b) 「新インセンティブ制度のお知らせ」, 平成 25 年 10 月
https://www.mod.go.jp/atla/souhon/insenthibu_osirase.pdf*5
- [7] 防衛省 防衛装備庁 (2020) 「中央調達概況 (令和 2 年版)」, 令和 2 年 9 月
https://www.mod.go.jp/atla/souhon/ousho/pdf/ousho_total.pdf*4
- [8] Hölmstrom, B. (1979) Moral Hazard and Observability, *Bell Journal of Economics*, 10, 74-91.
- [9] Laffont J. J. and Tirole, J. (1993) *A Theory of Incentives in Procurement and Regulation* The MIT Press.

*4 2021 年 1 月 25 日閲覧

*5 2019 年 11 月閲覧、2021 年 1 月 25 日では閲覧不可

- [10] Myerson, R. B.(1979) Incentive Compatibility And The Bargaining Problem, *Econometrica* 47,61-74.
- [11] Rogerson, W. P. (1985) The First-Order Approach to Principal-Agent Problems, *Econometrica*, 53,1357-1367.
- [12] Shavell, S. (1979) Risk Sharing and Incentives in the Principal and Agent Relationship. *Bell Journal of Economics* 10, 55-73.

付録 A：これまでのインセンティブ契約制度の評価（調達先企業の参加制約）

ここでは、本稿 3.1 節の比較における技術提案料、原価改善提案料、インセンティブ料に関する政府の支払額及び調達先企業の利得について補足し、インセンティブ料における他の申請方式についても整理する。

1. 生産コストの削減が行われない場合

生産コストの削減が行われない場合を考える。ある年度の支払額が $T_i = (1 + \alpha)C_B Q_i$ であることから、契約期間全体での政府の総支払額 T_T は

$$T_T = \sum_1^t (1 + \alpha)C_B Q_i = (1 + \alpha)C_B Q_T \quad (1)$$

となる。また、各年度の調達先企業の利得 $\Pi_i = T_i - C_B Q_i = \alpha C_B Q_i$ であることから、契約期間全体での調達先企業の総利得 Π は

$$\Pi = \sum_1^t \alpha C_B Q_i = \alpha C_B Q_T \quad (2)$$

となる。

2. 技術提案料

この制度においては、確約した生産コストの削減額 c_p の 50% を毎年度の契約で調達先企業に付与する形で与えられる。

各年度の政府の支払額 T_i は、

$$\begin{aligned}
 T_1 &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_1 + 0.5c_pQ_1 \\
 &\vdots \\
 T_5 &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_5 + 0.5c_pQ_5 \\
 T_6 &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_6 \\
 &\vdots \\
 T_t &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_t
 \end{aligned} \tag{3}$$

であり、契約期間全体の政府の総支払額 T_T は、

$$\begin{aligned}
 T_T &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_T + \sum_{i=1}^5 0.5c_pQ_i \\
 &= (1 + \alpha)C_BQ_T - (1 + \alpha)C_pQ_T + \sum_{i=1}^5 0.5c_pQ_i
 \end{aligned} \tag{4}$$

となる。

また、各年度の調達先企業の粗利得 Π_i は、各年度の政府の支払額 T_i から実際の生産コスト $(C_B - x)$ を差し引くことで得られ、

$$\begin{aligned}
 \Pi_1 &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_1 + 0.5c_pQ_1 - (C_B - x)Q_1 \\
 &\vdots \\
 \Pi_5 &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_5 + 0.5c_pQ_5 - (C_B - x)Q_5 \\
 \Pi_6 &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_6 - (C_B - x)Q_6 \\
 &\vdots \\
 \Pi_t &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_i - (C_B - x)Q_i
 \end{aligned} \tag{5}$$

であり、契約期間全体の調達先企業の粗利得 Π_T は

$$\Pi_T = \alpha C_B Q_T + \sum_{i=1}^5 0.5 c_p Q_i - (1 + \alpha) c_p Q_T + x Q_T \quad (6)$$

となる。生産コストの削減に係る努力に伴う不効用 $\psi(e)$ が初年度に発生することを考慮すれば、契約期間全体の調達先企業の総利得は、

$$\Pi = \alpha C_B Q_T + \sum_{i=1}^5 0.5 c_p Q_i - (1 + \alpha) c_p Q_T + x Q_T - \psi(e) \quad (7)$$

となる。

なお、(4) の第 1 項は、(1) であり、第 2 項以降の合計が、総支出の低減額であることから、政府がこの契約を締結するには、 $-(1 + \alpha) c_p Q_T + \sum_{i=1}^5 0.5 c_p Q_i \leq 0$ となる必要がある。この式を整理すると、

$$\frac{\sum_{i=1}^5 Q_i}{Q_T} \leq 2(1 + \alpha) \quad (8)$$

となる。 $\alpha > 0$ であり、かつ、総調達数量に対する適用期間の調達数量の割合が 1 を超えることがないことから、(8) はあらゆる α において常に成立する。

3. 原価改善提案料

この制度は、技術提案料の制度を下地として、原価計算方式が生産コストに一定の利益率の乗じることで利益を付与する計算方式であるため、調達先企業の努力により生産コストの削減が行われた場合、従前の技術提案料では当該削減額に係る利益分が調達先企業の利益から減少していたことに配慮し、当該低減額に係る利益分を加算し、支払額を増額している。各年度の原価改善提案料は、各年度の料率を β_i とすれば、 $(\beta_i + \alpha) c_p Q_i$ で

表される。なお、原価改善提案料の料率は自由に設定できるが、比較を容易にするため、 $\beta_i = 0.5$ 固定する。

各年度の政府の支払額 T_i は、

$$\begin{aligned}
 T_1 &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_1 + (0.5 + \alpha)c_pQ_1 \\
 &\vdots \\
 T_5 &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_5 + (0.5 + \alpha)c_pQ_5 \\
 T_6 &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_6 \\
 &\vdots \\
 T_t &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_i
 \end{aligned} \tag{9}$$

であり、契約期間全体の政府の総支払額 T_T は、

$$\begin{aligned}
 T_T &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_T + \sum_{i=1}^5 (0.5 + \alpha)c_pQ_i \\
 &= (1 + \alpha)C_BQ_T - (1 + \alpha)c_pQ_T + \sum_{i=1}^5 (0.5 + \alpha)c_pQ_i
 \end{aligned} \tag{10}$$

となる。

また、各年度の調達先企業の粗利得 Π_i は、各年度の政府の支払額 T_i から実際の生産コスト $(C_B - x)$ を差し引くことで得られ、

$$\begin{aligned}
 \Pi_1 &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_1 + (0.5 + \alpha)c_pQ_1 - (C_B - x)Q_1 \\
 &\vdots \\
 \Pi_5 &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_5 + (0.5 + \alpha)c_pQ_5 - (C_B - x)Q_5 \\
 \Pi_6 &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_6 - (C_B - x)Q_6 \\
 &\vdots \\
 \Pi_t &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_i - (C_B - x)Q_i
 \end{aligned} \tag{11}$$

であり、契約期間全体の調達先企業の粗利得 Π_T は、

$$\Pi_T = \alpha C_B Q_T + \sum_{i=1}^5 (0.5 + \alpha) c_p Q_i - (1 + \alpha) c_p Q_T + x Q_T \quad (12)$$

となる。生産コストの削減に係る努力に伴う不効用 $\psi(e)$ が初年度に発生することを考慮すれば、契約期間全体の調達先企業の総利得 Π は、

$$\Pi = \alpha C_B Q_T + \sum_{i=1}^5 (0.5 + \alpha) c_p Q_i - (1 + \alpha) c_p Q_T + x Q_T - \psi(e) \quad (13)$$

となる。(7) と比較すれば、右辺第 2 項に $\alpha(0 < \alpha < 1)$ が追加されており、技術提案料から原価改善提案料への制度変更により、調達先企業の参加制約が緩和されている。

なお、(10) 第 1 項は (1) であり、第 2 項以降の合計が、総支出の低減額であることから、政府がこの制度を実施するには、 $-(1 + \alpha) c_p Q_T + \sum_{i=1}^5 (0.5 + \alpha) c_p Q_i \leq 0$ となる必要がある。この式を整理すると、

$$\frac{\sum_{i=1}^5 Q_i}{Q_T} < 2 \left(1 + \alpha \frac{\sum_{i=6}^5 Q_i}{Q_T} \right) \quad (14)$$

となる。(14) は、 $\alpha > 0$ であり、かつ、総調達数量に対する適用期間の調達数量の割合が 1 を超えることがないことから、あらゆる α において常に成立する。

4. インセンティブ料

この制度は、原価改善提案料の制度を下地として、従来の生産コストの削減方法とその削減額を確約する方式に、生産コストの削減方法を確約して、後日その削減額を確定させる方式と、生産コストの削減が行われた事後に申告する方式が追加されている。また、料率やその適用年数が固定的ではなくなっている（本稿 2.1 節表 4 参照）。適用期間は通常

5年となっており、生産コストの削減額の割合が10%を超える場合、10%増すごとに1年を加算される。以下では簡略化のため、生産コストの削減額の割合は5%以下の場合を扱う。

4.1 原価改善提案方式（確約型）

本方式においては、生産コストの削減額の割合は5%以下である場合、制度の適用期間は5年であり、各年度の料率 β_i を1年目は0.90、それ以降の年度では順に0.85、0.80、0.75、0.70が適用される。

各年度の政府の支払額 T_i は、

$$\begin{aligned} 1 \leq i \leq 5 : T_i &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_i + (\beta_i + \alpha)c_pQ_i \\ i > 5 : T_i &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_i \end{aligned} \quad (15)$$

となり、契約期間全体の政府の総支払額 T_T は、

$$\begin{aligned} T_T &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_T + \sum_{i=1}^5 (\beta_i + \alpha)c_pQ_i \\ &= (1 + \alpha)C_BQ_T - (1 + \alpha)c_pQ_T + \sum_{i=1}^5 (\beta_i + \alpha)c_pQ_i \end{aligned} \quad (16)$$

となる。

また、各年度の調達先企業の粗利得 Π_i は各年度の政府の支払額 T_i から実際の生産コスト $(C_B - x)$ を差し引くことで得られ、

$$\begin{aligned} 1 \leq i \leq 5 : \Pi_i &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_i + (\beta_i + \alpha)c_pQ_i - (C_B - x)Q_i \\ i > 5 : \Pi_i &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_i - (C_B - x)Q_i \end{aligned} \quad (17)$$

であり、契約期間全体の調達先企業の粗利得 Π_T は、

$$\begin{aligned}\Pi_T &= (1 + \alpha)(C_B - c_p)Q_T + \sum_{i=1}^5 (\beta_i + \alpha)c_p Q_i - (C_B - x)Q_T \\ &= \alpha C_B Q_T + \sum_{i=1}^5 (\beta_i + \alpha)c_p Q_i - (1 + \alpha)c_p Q_T + xQ_T\end{aligned}\quad (18)$$

となる。生産コストの削減に係る努力に伴う不効用 $\psi(e)$ が初年度に発生することを考慮すれば、契約期間全体の調達先企業の総利得 Π は、

$$\Pi = \alpha C_B Q_T + \sum_{i=1}^5 (\beta_i + \alpha)c_p Q_i - (1 + \alpha)c_p Q_T + xQ_T - \psi(e)\quad (19)$$

となる。(12) と比較すれば、右辺第 2 項が $\beta_i > 0.5$ であることから、原価改善提案料からインセンティブ料への制度変更により、調達先企業の参加制約が緩和されている。また、原価改善提案料における結果と合わせれば、これまでの制度変更は、生産コストの削減方法及び削減額を確約する方式において、企業の参加制約をより緩和しているといえ、調達先企業に対し、当該制度の積極的活用を促すという目的に合致した制度変更であったといえる。

なお、(16) の第 1 項は、(1) であり、第 2 項以降の合計が、総支出の低減額であることから、政府がこの制度を実施するには、 $-(1 + \alpha)c_p Q_T + \sum_{i=1}^5 (\beta_i + \alpha)c_p Q_i \leq 0$ となる必要がある。この式を整理すると、

$$\frac{\sum_{i=1}^5 \beta_i Q_i}{Q_T} \leq 1 + \alpha \frac{\sum_{i=6}^5 Q_i}{Q_T}\quad (20)$$

となる。(20) は、左辺は $\beta < 1$ であることから 1 を上回らず、右辺は $\alpha > 0$ であることから 1 を下回らない。そのため、あらゆる α において常に成立する。

4.2 原価改善提案方式（確定型）

本方式においては、制度の適用期間は5年であり、各年度の料率 β_i を1年目は0.80、それ以降の年度では順に0.80、0.75、0.65、0.60が適用する。確定型の調達先企業の利得は、確約型における確約した生産コストの削減額 c_p を実際に達成した生産コストの削減額 x として表現すればよく、各年度の政府の支払額 T_i は

$$\begin{aligned} 1 \leq i \leq 5 : T_i &= (1 + \alpha)(C_B - x)Q_i + (\beta_i + \alpha)xQ_i \\ i > 5 : T_i &= (1 + \alpha)(C_B - x)Q_i \end{aligned} \quad (21)$$

であり、契約期間全体の政府の総支払額 T_T は、

$$\begin{aligned} T_T &= (1 + \alpha)(C_B - x)Q_T + \sum_{i=1}^5 (\beta_i + \alpha)xQ_i \\ &= (1 + \alpha)C_B Q_T - (1 + \alpha)xQ_T + \sum_{i=1}^5 (\beta_i + \alpha)xQ_i \end{aligned} \quad (22)$$

となる。

また、各年度の調達先企業の粗利得 Π_i は、各年度の政府の支払額 T_i から実際の実生産コスト $(C_B - x)$ を差し引くことで得られ、

$$\begin{aligned} 1 \leq i \leq 5 : \Pi_i &= (1 + \alpha)(C_B - x)Q_i + (\beta_i + \alpha)xQ_i - (C_B - x)Q_i \\ i > 5 : \Pi_i &= (1 + \alpha)(C_B - x)Q_i - (C_B - x)Q_i \end{aligned} \quad (23)$$

であり、契約期間全体の調達先企業の粗利得 Π_T は、

$$\Pi_T = \alpha C_B Q_T + \sum_{i=1}^5 (\beta_i + \alpha)xQ_i - \alpha x Q_T \quad (24)$$

と表される。生産コストの削減に係る努力に伴う不効用 $\psi(e)$ が初年度に発生することを

考慮すれば、契約期間全体の調達先企業の総利得 Π は、

$$\Pi = \alpha C_B Q_T + \sum_{i=1}^5 (\beta_i + \alpha) x Q_i - \alpha x Q_T - \psi(e) \quad (25)$$

と表される。第1項が(2)であるから、第2項以降の合計が、調達先企業の制度適用による利得増加分になるため、調達先企業の参加制約は、

$$\sum_{i=1}^5 (\beta_i + \alpha) x Q_i - \alpha x Q_T - \psi(e) \geq 0 \quad (26)$$

となる。

なお、(22)の第1項は、(1)であり、第2項以降の合計が、総支出の低減額であることから、政府がこの制度を実施するには、 $-\sum (1 + \alpha) x Q_i + \sum_{i=1}^5 (\beta_i + \alpha) x Q_i \leq 0$ となる必要がある。この式を整理すると、

$$\frac{\sum_{i=1}^5 \beta_i Q_i}{Q_T} \leq 1 + \alpha \cdot \frac{\sum_{i=6} Q_i}{Q_T} \quad (27)$$

となる。(27)において、左辺は $\beta < 1$ であることから1を上回らず、右辺は $\alpha > 0$ であることから1を下回らない。そのため、あらゆる α において常に成立する。

4.3 原価改善申告方式

この方式は、契約履行中に、何らかの要因によって発生した生産コストの削減額を事後申告する方式である。この制度が適用される状況としては、例えば契約時には生産コストの削減方法がなく、契約履行中にコスト削減方法を発見し、その方法を速やかに実行した場合が考えられる。このような場合において、調達先企業がその削減額について政府に申告するかを検討する。

政府は、同一の防衛装備品を調達する場合、調達先企業に対する原価監査や見積の精査を通じて、生産コスト及び生産コストの削減があった場合の削減額について把握できるとすれば、次年度以降の調達において、この生産コストの削減額を控除して予定価格を算定することとなる。そのため、調達先企業の利得は生産コストの削減額に係る利益 αx が減少することとなり、調達先企業は本方式を適用し、生産コストの削減額に料率を乗じた額を受け取ることとで利得を最大化できる。しかし、この方式は、発生した生産コストの削減額による利益の減少を押しとどめるものであり、本方式自体に生産コストの削減に係る努力を促す効果はないと考えられる。

付録 B : First Order Approach

本稿 3.2 節で用いた First Order Approach は Hölmstrom (1979) と Shavell (1979) によって創始されたプリンシパル・エージェント問題の解析方法である。ここでは、Hölmstrom(1979) に基づいて、First Order Approach の概略を記述する。

エージェントの行動 a が状態 θ のときに生み出すプリンシパルの所得を $x = x(a, \theta)$ と表す。ここで、エージェントが取りうる行動の集合を A 、実数全体の集合 \mathcal{R} の部分集合とし、エージェントがとる行動を $a \in A \subseteq \mathcal{R}$ と表す。また、状態 θ はエージェントの生み出すプリンシパルの所得を決定する予想不可能なパラメータであり、例えばエージェントの技術水準や外部環境の状態などを表す。

また、エージェントの行動には不効用 $V(a)$ が伴う。所得 w に対するエージェントの効用を $U(w)$ と表すと、エージェントは $H(w, a) = U(w) - V(a)$ を最大化する。ここで $V'(a) > 0$ とする。また、 $U''(w) < 0$ を仮定する。

プリンシパルがその所得 x からエージェントに移転する分を $s(x)$ と表すと、プリンシパルが受け取る利得は $x - s(x)$ で与えられる。このときのプリンシパルの効用関数を $G(x - s(x))$ と表す。

プリンシパルの期待効用の最大化問題は、エージェントの期待効用がエージェントの留保利得を \bar{H} 上回り、また、エージェントの期待効用がある行動 a' をとることで最大化されるという制約において、

$$\max_{s(x), a} E[G(x - s(x))] \quad (1)$$

$$\text{s.t. } E[H(s(x), a)] \geq \bar{H} \quad (2)$$

$$a \in \arg \max_{a' \in A} E[H(s(x), a')] \quad (3)$$

と与えられる。

θ の分布が与えられると、 $x = x(a, \theta)$ であるから、 x をエージェントの行動 a をパラメータとした累積分布関数 $F(x, a)$ の確率変数としてみなせ、 a が大きくなるにつれ、 x が大きくなることを想定すると、 $x_a > 0$ から $F_a(x, a) < 0$ となる。

この累積分布関数の確率密度関数 $f(x, a)$ として、全ての (x, a) において、 f_a 及び f_{aa} が定義されるとすれば、上記の式は、

$$\max_{s(x) \in [c, d+x], a} \int G(x - s(x)) f(x, a) dx \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \quad \int [U(s(x)) - V(a)] f(x, a) dx \geq \bar{H} \quad (5)$$

$$\int U(s(x)) f_a(x, a) dx = V'(a) \quad (6)$$

となり、(3) が (6) となり、エージェントの期待効用がエージェントのある行動 a' によって最大化されることをエージェントの行動 a についての一階の条件で置き換えられ、プリンシパルの期待効用の最大化問題の等号制約とすることができる。これが First Order Approach である。なお、解の不存在を回避するため、移転 $s(x)$ には上限と下限を設定する必要がある。

本稿 3.2 節においては、支払額 T_T がエージェントへの移転分であり、確約した生産コストの削減額 c_p は当初の生産コスト C_B が上限（下限は当然に 0）となっている。また、実際に達成した生産コストの削減額も同様の上限、下限をもつ。なお、(3) は複数の解を持ちうるが、エージェントの期待効用最大化問題の解が一意であると仮定し、3.4 節においては、諸条件を設定して数値計算を行い、得られた x と e の組のうち、より大きな x を有する組を解としている。

First Order Approach は、さらにいくつかの制約条件を付加しなければ、最適な移転 $s(x)$ を導出可能であるという意味で有効ではないことが知られている。Rogerson(1985) は、First Order Approach が有効となるための十分条件は、単調尤度比条件 (MLRC: Most

Likelihood-Ratio Condition) と累積分布関数の凸性 (CDFC:the Convexity of the Distribution Function Condition) であることを証明した。

MLRC とは、確率密度関数について、 a について $a_1 < a_2$ であれば、 $f(x, a_1)/f(x, a_2)$ が x に関する非増加関数となる条件である。なお、本稿 3.2 節においては、インセンティブ強度に注目しており、最適な移転 $s(x)$ を求めるものではないことから、MLRC 及び CDFC は課さず、 $F_a(x, a) < 0$ を条件として確率分布を特定し、インセンティブ強度を比較している。

付録 C： 顕示原理（表明原理：Revelation Principle）

顕示原理には適用される状況に応じて異なるものがいくつか提案されているが、本稿 3.2 節および第 4 章では Myerson (1979) によって定式化された顕示原理を用いているので、ここではその概略を記述する。

Myerson (1979) は、プレイヤーのタイプ（選好）を直接表明することを戦略とするゲーム（選好、メッセージ、帰結関数の組を言う）において、正直申告した場合を議論の出発点として、①ベイズ誘因両立性を有するメカニズム（メッセージ、帰結関数の組）で得られる期待利得はあらゆるメカニズムで得られる期待利得の空でない凸でコンパクトな部分集合であること、②あるメカニズムにおいて、ある応答で（ベイズ）均衡が成立する場合、同じ期待利得を達成するベイズ誘因両立性を有するメカニズムが存在すること、③何もしない場合の利得を上回る期待利得を配分するベイズ誘因両立性を有するメカニズムが存在すれば、達成できる最大の期待利得の配分が存在することを証明している。

これらの証明から、プレイヤーがタイプ（選好）を直接表明することを戦略とするゲームにおいて、あるメカニズムにおいてベイズ均衡が成立する場合、ベイズ誘因両立性を有するメカニズムに置き換えることが可能であり、また、置き換えたメカニズムがベイズ誘因両立性を有するメカニズムであることから、正直申告した場合の利得が最大となっており、その利得が何もしない場合の利得を上回っていれば、同メカニズムが実現可能であるということが導かれ、これを顕示原理と呼んでいる。

以上から、調停者（制度設計者）が何かしらの目標を達成するためのメカニズムを考える場合、その利得に注目すれば、あらゆるメカニズムで得られる利得を分析の対象にせず、ひとつのメカニズムを分析すれば事足りること、すなわち、直接表明することを戦略とするゲームにおいて正直申告を行った場合の利得を分析すればよいことを示しており、メカニズムの分析を極めて単純化することが可能となる。

本稿 3.2 節においては、調達先企業が確約する生産コストの削減額 c_p 、これに応じた政府からの支払額 T_T を直接表明させるメカニズムにおいて、この c_p を正直申告した場合の利得に注目し、インセンティブ強度の比較を行っている。また、本稿第 4 章においては、調達先企業が 1 単位あたりの生産コスト c 、生産量 q 、これらに応じた政府からの支払額 T を直接表明させるメカニズムにおいて、 c と q を通じて調達先企業が持つ生産コストに関するパラメータ β を正直申告した場合の利得に注目し、調達先企業に生産コストの削減に係る努力を促し、削減した生産コストを正直に申告させる契約の概形を検討している。

付録 D : ポントリャーギンの最大値原理 (Pontryagin maximum principle)

ポントリャーギンの最大値原理は Pontryagin が定式化したものであり、須賀 (2014) では、次の連続時間制御問題について、同原理を用いた解法を例示している。

$$\begin{aligned} \max_{\{u(t)\}} J &= \int_0^T V(x, u) dt \\ \dot{x} &= f(x, u) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} x(0) &= x^0 \\ x(T) &= x^T \end{aligned} \quad (2)$$

x は状態変数、 u は制御変数であり、両社とも時間 t の関数である。 \dot{x} は変数 x の時間 t に関する微分を表す。ハミルトニアン (関数) を、共役変数 $\lambda(t)$ を用いて、次のように定義する。

$$H(x, u) = V(x, u) + \lambda f(x, u) \quad (3)$$

このとき、本最適化問題において最適解が与えられるならば、 $0 \leq t \leq T$ において、以下の条件を満たさなければならない。

$$\frac{\partial H}{\partial u} = 0 \quad (4)$$

$$\dot{\lambda} = -\frac{\partial H}{\partial x} \quad (5)$$

$$\dot{x} = \frac{\partial H}{\partial \lambda} = f(x, u) \quad (6)$$

$$\lambda(T) = 0 \quad (7)$$

(7) は横断条件と呼ばれる。

なお、本稿第 4 章において、政府の最大化問題は、

$$\begin{aligned} \max \int_{\underline{\beta}}^{\bar{\beta}} [S(q) - (1 + \lambda)(cq + \psi(\beta - c)) - \lambda\pi] d\beta \\ \text{s.t. } \dot{\pi} &= -\psi'(\beta - c) \\ \pi(\bar{\beta}) &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

と定式化され、調達先企業の契約による利得 π を状態変数、調達数量 q 及び 1 単位あたりの生産コスト c を制御変数として、時間 t に代わり調達先企業の生産コストに関するパラメータ β を用いており、その条件は以下のようにまとめられる。

$$\dot{\mu} = -\frac{\partial H}{\partial \pi} \quad (9)$$

$$\frac{\partial H}{\partial q} = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial H}{\partial c} = 0 \quad (11)$$

$$\dot{\pi} = \frac{\partial H}{\partial \mu} \quad (12)$$

$$\mu(\underline{\beta}) = 0 \quad (13)$$

なお、 $\dot{\mu}$ 及び $\dot{\pi}$ は β に関する微分を表す。