



リバーササプライチェーンマネジメントへの買手寡占モデルの応用

竹林, 幹人
松井, 建二

(Citation)

国民経済雑誌, 227(5):63-85

(Issue Date)

2023-09-10

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/0100483206>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100483206>



国民経済雑誌

THE
KOKUMIN-KEIZAI ZASSHI
(JOURNAL OF ECONOMICS & BUSINESS ADMINISTRATION)

リバーズサプライチェーン
マネジメントへの
買手寡占モデルの応用

竹 林 幹 人
松 井 建 二

国民経済雑誌 第227巻 第5号 抜刷

2023年9月

神戸大学経済経営学会

リバースサプライチェーンマネジメントへの 買手寡占モデルの応用

竹 林 幹 人^a
松 井 建 二^b

マーケティングや産業組織論の領域では、流通チャンネルの競争環境を描写する目的で、売手寡占モデルが頻繁に用いられる。それと比較するならば、買手寡占モデルは用いられる機会がほとんど無い。本論文では、最終消費者への製品の販売経路となるフォワードチャンネルではなく、使用済み製品の回収経路となるリバースチャンネルの描写に買手寡占モデルが有効に用いられることを示す。このことを具体的に示すために、デュアルリサイクルチャンネルと呼ばれる、直接回収チャンネルと間接回収チャンネルの2種類のリバースチャンネルを利用することができる、2つのリサイクル業者間の買取価格競争モデルを提示する。既存研究ではフォワードチャンネルを描写するために消費者による製品への「需要関数システム」が用いられてきたが、これとちょうど対照的に、リバースチャンネルを描写するためには消費者による使用済み製品の「供給関数システム」を用いることが有用であることを示す。このモデルにより、リバースサプライチェーンを構成する各企業の利潤を求めることができ、その結果を、例えばチャンネル選択の意思決定に利用できる。さらに、このモデルを企業の利潤だけではなく消費者厚生や社会厚生分析にも用いることができることを示す。本論文の結果は、競合関係あるいは協調関係にある複数の企業を対象とするサプライチェーンマネジメントの研究で、買手寡占モデルを広範に利用できる可能性を示すものである。

キーワード サプライチェーンマネジメント、リバースサプライチェーン、
買手寡占

1 はじめに

今日の経済では、主に大企業を中心として企業が市場支配力を持つ状況が広範に観察されるが、その市場支配力がどのような経済的帰結をもたらすかは、経済学と経営学において重

a 神戸大学大学院経営学研究科, kan.b.u.t.9@gmail.com

b 神戸大学大学院経営学研究科, kmatsui@b.kobe-u.ac.jp

要な論点となってきた。企業が市場支配力を持つ状況を分析するための理論的な枠組みとしては、寡占モデルが利用されることが多い。そして、この寡占モデルは少数の経済主体が製品を販売する売手寡占モデルと少数の経済主体が製品を購入する買手寡占モデルに大別される。

これまでの経済学と経営学、特にその中の産業組織論やマーケティングの領域では、流通チャンネルの競争環境を描写する目的で、売手寡占モデルが頻繁に用いられてきた。それと比較するならば、買手寡占モデルは用いられる機会がほとんど無かったと言える¹⁾。流通チャンネルは、最終消費者に向けた製品の販売経路である「フォワードチャンネル」と、使用済み製品の回収経路である「リバースチャンネル」に大別される²⁾。本論文では、フォワードチャンネルではなくリバースチャンネルの描写に買手寡占モデルが有効に用いられることを示す。このことを具体的に示すために、デュアルリサイクルチャンネルと呼ばれる、直接回収チャンネルと間接回収チャンネルの2種類のリバースチャンネルを利用することができる、2つのリサイクル業者間の買取価格競争モデルを提示する。既存研究ではフォワードチャンネルを描写するために消費者による製品への「需要関数システム」が用いられてきたが、これとちょうど対照的に、リバースチャンネルを描写するためには消費者による使用済み製品の「供給関数システム」を用いることが有効であることを示す。このモデルにより、リバースサプライチェーンを構成する各企業の利潤を求めることができ、その結果を、例えばチャンネル選択の意思決定に利用できる。さらに、このモデルを企業の利潤だけではなく消費者厚生や社会厚生³⁾の分析にも用いることができることを示す。

次節に事例をまとめているが、今日のリバースサプライチェーンでは、デュアルリサイクルチャンネルと呼ばれる形態の使用済み製品の回収経路が用いられるようになっている。リバースサプライチェーンで重要な役割を果たすリサイクル業者は、取引仲介者となる外部の回収業者をとおして間接的に使用済み製品を消費者から回収する経路だけでなく、インターネットを利用して直接に買い取る回収経路を利用しはじめている。リサイクル業者がこれらの直接回収チャンネルと間接回収チャンネルを組み合わせると最終消費者から使用済み製品を買い取る形態は、デュアルリサイクルチャンネル・リバースサプライチェーンと呼ばれる³⁾。本論文ではこの現状を考慮し、デュアルリサイクルチャンネルを利用するリサイクル業者が使用済み製品の買取価格競争に直面した場合、どの回収チャンネルを利用することが各業者にとって最適かを探るモデルを構築する。具体的には、買取価格競争下にある2つのリサイクル業者のそれぞれが、どのチャンネルで使用済み製品を買い取り、回収するかに関して3つの戦略から選択する問題を考える。それらはすなわち、間接回収チャンネルのみから買い取る戦略、直接回収チャンネルのみから買い取る戦略、そして間接回収チャンネルと直接回収チャンネルの両方から買い取る戦略の3つの選択である。リバースサプライチェーンではフォワードサプライ

チェーンと異なり、使用済み製品を売却する消費者は、通常、競合する業者間の差別化を感じないという特徴がある。これに対し、異なる種類の回収経路である直接回収チャンネルと間接回収チャンネルの間では消費者は差別化を知覚すると考えられる。本論文ではこのようなリバースサプライチェーンの特徴を反映し、消費者は異なる種類の回収チャンネルは差別化されているが、異なるリサイクル業者は差別化されていないと知覚する状況を仮定してモデルを構築する。

以上のモデルを解くことにより、まず、次のようなチャンネル選択の組み合わせが均衡になることを示す。1つめの均衡では、両方のリサイクル業者が直接回収チャンネルと間接回収チャンネルの両方を利用する。2つめの均衡では、一方のリサイクル業者が直接回収チャンネルのみを利用し、他方のリサイクル業者が間接回収チャンネルのみを利用する。そして、このそれぞれの均衡のもとでの余剰と社会厚生を求める。結果として、企業にとっては2つめの非対称的な均衡の方が正の利潤を確保できるためパレート優位であるが、消費者余剰および全体の社会厚生にとっては1つめの対称的な均衡の方がより大きくなることが示される。両方のチャンネルをとおして2つのリサイクル業者が全面的に買取価格競争を行う均衡は業者にとっては望ましくない結果をもたらすが、消費者余剰は企業利潤の減少分を補って余りあるだけ増大するために、結果として社会厚生は最大になるという含意が得られる。つまり、価格競争の圧力がより強まり、企業の利潤ができるだけ消費者の余剰に還元されるという状況の方が社会厚生としては望ましいという、売手寡占モデルの標準的な結果が買手寡占モデルでも再現される。換言すると、フォワードサプライチェーンの標準的な結果は、リバースサプライチェーンでも同様に再現されることになる。以上の結果は、競合関係あるいは協調関係にある複数の企業を対象とするサプライチェーンマネジメントの研究で、買手寡占モデルを広範に利用できる可能性を示すものである。

本研究は以下のようにまとめられる。2節では、世界各国のリバースサプライチェーンの現状を展望する。3節では、関連する既存研究を概観する。4節では、本研究で分析するモデルの枠組みを説明する。5節では、本研究のモデルから得られた結果と含意をまとめる。6節では、結論を述べる。

2 リバースサプライチェーンの現状

前節でふれたように、世界の大手リサイクル業者は製品回収のプラットフォームを独自に構築し、デュアルリサイクルチャンネルを採用している (Feng et al., 2017)。例えば、中国では京东商城 (JD.com) が筆頭株主となり、スマートフォンの買取と再販を行うリサイクルプラットフォームである「爱回收」を設立し、現在では4000万人以上の顧客と取引を行っている (Wang et al., 2018; Zuo et al., 2020)。中国のもう1つの大手リサイクル業者である GEM

は、オンラインリサイクルプラットフォームとして「回収哥」を設立した (Zuo et al., 2020)。また、2000年代にドイツで設立された reBuy reCommerce GmbH と Momox GmbH はいずれも現在、欧州で大規模なリサイクルプラットフォームを運営する大手リサイクル業者となっている。これらは古書や使用済み電子機器類を卸売業者などの外部業者を通じて買い取るだけでなく、インターネットを利用した自社のオンラインプラットフォームをとおして消費者から直接買い取っている。さらに米国では、複数の回収チャンネルを通じて消費者から PC や携帯電話を買い取る大手リサイクル業者として Gazelle が存在する⁴⁾。

しかし、これらのリサイクル業者の収益性はおしなべて低い傾向がある。欧州の reBuy では、その収益性を測る EBITDA は2015年に−280万ユーロ、2016年に−410万ユーロとなっている (Neuhaus, 2018)。中国でもリサイクル業者間で買取価格を引き上げる激しい競争が起きており、それぞれの業者は収益性を維持することが困難となっている (Song et al., 2017; Zuo et al., 2020)。

リサイクル業者の収益性が低い一因として、リバースサプライチェーンを構成するリサイクル業者は、フォワードサプライチェーンを構成するメーカーと比較して顧客のロイヤルティを創出することが難しいことが考えられる。フォワードサプライチェーンでは、消費者は特定のメーカーから供給される製品に対してブランド・ロイヤルティを持つため、異なるメーカーから供給される製品が差別化されていると知覚することが一般的である。例えば、消費者はアップルとシャープのどちらのスマートフォンをより購入したいかについて選好を持つことが通常である。これに対し、リバースサプライチェーンでは特定のリサイクル業者に対するロイヤルティを生み出す要因が無い⁵⁾ため、消費者はリサイクル業者間での差別化を感じない可能性が高い。例えば欧州であれば、消費者はスマートフォンを reBuy と Momox のどちらに売却するかという選択の際にロイヤルティを持つ可能性は低い。むしろ、単純により高い買取価格を提示してくれる業者に使用済み製品を売却する可能性が高い。したがって、リバースサプライチェーンを構成する企業はフォワードサプライチェーンを構成する企業と比較して、より激しい価格競争に直面せざるをえない。これはリバースサプライチェーンを対象とした研究を行う際に考慮すべき重要な特徴となる。

3 先行研究

Govindan et al. (2015) や Guo et al. (2017) で包括的に展望されているように、近年、リバースサプライチェーンや循環型サプライチェーンの数理モデルを構築する研究が増えている⁵⁾。この流れの初期の研究では、消費者は使用済み製品の売却から得られる受け取り金を考慮せずに単にそれらを廃棄する状況を仮定しているため、製品の回収量は買取価格ではなく企業の回収努力を表す投資に依存するモデルが構築されてきた (Savaskan et al., 2004; Sa-

vaskan and van Wassenhove, 2006; Hong et al., 2013; Huang et al., 2013; He et al., 2019; Ranjbar et al., 2020)。この流れの最初の研究である Savaskan et al. (2004) では、消費者から使用済み製品を回収するための最適な循環型サプライチェーンの構造を分析している。Savaskan et al. (2004) のモデルでは、メーカーが製品を回収する際に、消費者から製品を直接回収するか、チャンネル内の小売業者に回収業務を委託するか、あるいは外部の業者に回収業務を委託するか、という3つの方法から1つを選択する状況を考えている。これら3つの回収方法でのメーカーの均衡利潤を比較すると、小売業者に回収を委託する方法が他の方法を採用するよりも利潤は大きくなることが示されている。Choi et al. (2013) は、メーカー1社、小売業者1社、回収業者1社からなる循環型サプライチェーンの収益性が、それぞれの企業による意思決定の順序にどのように依存するかを分析している。彼らは、小売業者が最初に意思決定を行う順番が、最も効率的な循環型サプライチェーンをもたらすことを示している。Wu and Zhou (2017) は、2つのサプライチェーンの存在を仮定することで Savaskan et al. (2004) のモデルを拡張し、サプライチェーン間の競争がメーカーのリバースチャンネルの選択に与える影響を分析している。彼らのモデルでは、一方のメーカーは小売業者をとおした間接回収を選択し、他方のメーカーは直接回収を選択するという非対称な均衡が生じうることを示した。彼らのモデルでは企業の回収努力を決定変数としているが、本論文のモデルでは決定変数として買取価格を仮定している。

上にあげた初期の先行研究群は、使用済み製品の回収量は企業による回収努力に依存するというモデルを構築してきた。しかし、前節で展望したようにインターネットを利用したオンライン回収チャンネルが利用されるようになったため、消費者は使用済み製品の買取価格情報をよりすばやく知り、それらを業者間で比較することが容易になった。これを受け、リサイクル業者が買取価格競争を行う状況は現実的に観察されるようになってきている。このため、リバーサブライチェーンを構成する企業は回収努力ではなく、買取価格で競争する状況を想定するモデルを構築する研究が増えている (Bulmus et al., 2014; He, 2015; Wu, 2015; Feng et al., 2017; Li et al., 2019; Heydari et al., 2018; Taleizadeh and Sadeghi, 2019; Jin et al., 2021; Matsui, 2022, 2023⁶⁾)。直近では、Matsui (2022) が1つのリサイクル業者と1つの回収業者からなるデュアルリサイクルチャンネル・リバーサブライチェーンを描写するモデルを構築し、消費者に対して製品の買取価格を提示する望ましいタイミングを分析している。結果として、リサイクル業者は、間接回収チャンネルで回収業者に支払う業者間価格を設定するよりも前の時点で直接回収チャンネルでの買取価格を発表することで、自社の利潤と消費者余剰を最大化できることを示した。その後、Matsui (2023) は、買取価格競争に直面する複数のリサイクル業者にとっての最適なリバースチャンネルの形状の選択を分析するモデルを構築している。本論文はこの研究の流れの延長に位置づけられる。

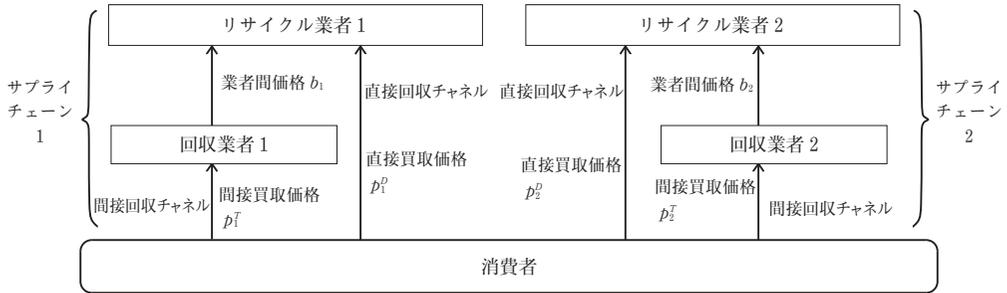
4 モ デ ル

本論文ではリバースサプライチェーンの描写に買手寡占モデルを有効に用いられることを示すことが主要な目的であるが、本節ではその目的のために論文で構築するモデルの具体的な枠組みを説明する。なお、以下のモデルの基本的な構造は Matsui (2023) に依拠している。モデルで使用する変数は表1にまとめられている。また、図1にモデルで想定するリバースサプライチェーンの構造を示しているが、本論文のモデルでは消費者から使用済み製品の買取と回収を行う2つのリバースサプライチェーンが存在すると仮定する。図1に示すように、リサイクル業者1と回収業者1からなるリバースサプライチェーンをサプライチェーン1、リサイクル業者2と回収業者2からなるリバースサプライチェーンをサプライチェーン2と記す。各リサイクル業者は、消費者から直接、あるいは回収業者をとおして間接的に使用済み製品を買い取り、回収することができる。リサイクル業者が消費者から直接回収する経路を直接回収チャンネル、回収業者が間接的に回収する経路を間接回収チャンネルとそれぞれ呼ぶ

表1 変数一覧

p_i^T	回収業者 i の間接回収チャンネルにおける間接買取価格
p_i^D	リサイクル業者 i の直接回収チャンネルにおける直接買取価格
b_i	リサイクル業者 i から回収業者 i に支払われる業者間価格
q_i^T	サプライチェーン i の間接回収チャンネルから収集される使用済み製品の数量
q_i^D	サプライチェーン i の直接回収チャンネルから収集される使用済み製品の数量
θ	同一のサプライチェーン内でのチャンネル間の代替度 ($0 < \theta < 1$)
λ	同種のチャンネル内でのサプライチェーン間の代替度 ($0 < \lambda \leq 1$)
α	逆供給関数の切片
β	逆供給関数の傾き
w	リサイクル後の製品の販売価格
c	製品の取り扱い費用
Δ	間接回収チャンネルで生じる限界費用
Γ	直接回収チャンネルで生じる限界費用
X	$w - c - \alpha - \Delta$
Y	$w - c - \alpha - \Gamma$
Π	リサイクル業者の利潤
π	回収業者の利潤
CS	消費者余剰
SW	社会厚生
DU	消費者の不効用
i	サプライチェーンを表す下付文字 ($i=1, 2$)
D	直接回収チャンネルのみを利用する戦略
T	間接回収チャンネルのみを利用する戦略
TD	直接回収チャンネルと間接回収チャンネルの両方を利用する戦略
S_i	リサイクル業者 i のチャンネル戦略

図1 リバースサプライチェーンの構造



注：矢印の向きは製品の流れを表す。

ことにする。また、これらの2種類の回収チャンネルをデュアルリサイクルチャンネルと表記する。

リサイクル業者 $i(i=1, 2)$ は、どのチャンネルを使用するかに関するチャンネル戦略として、以下の3つの戦略 T, D, TD のうち1つを選択するものとする。戦略 T では、間接回収チャンネルをとおしてのみ使用済み製品を買い取る。戦略 D では、直接回収チャンネルをとおしてのみ製品を買い取る。そして戦略 TD では、間接回収チャンネルと直接回収チャンネルの両方をとおして製品を買い取る。リサイクル業者 i が戦略 T または TD を選択した場合、リサイクル業者は回収業者 i に支払う使用済み製品の業者間価格 b_i を決定する。その後、回収業者 i は、使用済み製品の買取価格 p_i^I を決定し、その価格で間接回収チャンネルを通じて製品を買い取る。他方で、リサイクル業者 i が戦略 D または TD を選択した場合、使用済み製品の直接買取価格 p_i^D を決定し、直接回収チャンネルで直接製品を買い取る。このため p_i^I と p_i^D をそれぞれサプライチェーン i における間接買取価格と直接買取価格と呼ぶことにする。

次に、代表的消費者が使用済み製品を売却する際の不効用を DU と表記し、それを以下のように仮定する。⁸⁾

$$DU = \alpha(q_1^I + q_2^I + q_1^D + q_2^D) + \beta(((q_1^I)^2 + (q_2^I)^2 + (q_1^D)^2 + (q_2^D)^2)/2 + \lambda(q_1^I q_2^I + q_1^D q_2^D) + \theta(q_1^I q_1^D + q_2^I q_2^D) + \lambda\theta(q_1^I q_2^D + q_1^D q_2^I)) \quad (1)$$

ここで q_i^I と q_i^D はそれぞれ、サプライチェーン i における間接回収チャンネルと直接回収チャンネルで買い取られた使用済み製品の量を表す。 $\theta \in (0, 1)$ は、直接回収チャンネルと間接回収チャンネル間の代替性を示し、 $\lambda \in (0, 1]$ は、同じ種類のチャンネル内の異なるサプライチェーン間の代替性を示している。したがって、 θ と λ が減少するにつれて、消費者は2つのチャンネルと2つのサプライチェーンがそれぞれより差別化されていると知覚することになる。このため、 θ をチャンネル代替度、 λ をサプライチェーン代替度と呼ぶことにする。また、 α と β は正の定数である。他方で、消費者が使用済み製品を売却することにより受け取る金

額は、 $p_1^T q_1^T + p_2^T q_2^T + p_1^D q_1^D + p_2^D q_2^D$ と表される。

以上の関数を利用することにより、消費者余剰 CS は次のように表される。

$$\begin{aligned} CS = & (p_1^T q_1^T + p_2^T q_2^T + p_1^D q_1^D + p_2^D q_2^D) \\ & - (\alpha(q_1^T + q_2^T + q_1^D + q_2^D) + \beta(((q_1^T)^2 + (q_2^T)^2 + (q_1^D)^2 + (q_2^D)^2)/2 \\ & + \lambda(q_1^T q_2^T + q_1^D q_2^D) + \theta(q_1^T q_1^D + q_2^T q_2^D) + \lambda\theta(q_1^T q_2^D + q_1^D q_2^T)) \end{aligned} \quad (2)$$

消費者は、CS を最大化するように使用済み製品の供給量を決定する。したがってリサイクル業者と回収業者がそれぞれ直面する逆供給関数は $\partial CS / \partial q_1^T = \partial CS / \partial q_1^D = \partial CS / \partial q_2^T = \partial CS / \partial q_2^D = 0$ を解くことで次のように得られる。

$$\begin{aligned} p_1^T &= \alpha + \beta(q_1^T + \lambda q_2^T + \theta(q_1^D + \lambda q_2^D)) \\ p_2^T &= \alpha + \beta(q_2^T + \lambda q_1^T + \theta(q_2^D + \lambda q_1^D)) \\ p_1^D &= \alpha + \beta(q_1^D + \lambda q_2^D + \theta(q_1^T + \lambda q_2^T)) \\ p_2^D &= \alpha + \beta(q_2^D + \lambda q_1^D + \theta(q_2^T + \lambda q_1^T)) \end{aligned} \quad (3)$$

(3)式は、 p_1^T と p_1^D が増加すると q_1^T と q_1^D がそれぞれ増加する関係を表している。これは、あるチャンネルで提示される買取価格が高いほど、消費者が使用済み製品をそのチャンネルに売却する動機が強くなることを反映している。

次に、リサイクル業者は直接回収チャンネルで発生する使用済み製品の取扱いに必要な費用を支払い、他方で回収業者は間接回収チャンネルで発生する取扱い費用を支払うと仮定する。これらのチャンネル別の製品1単位あたりの取扱費用をそれぞれ Γ と Δ と表す。すなわち、 Γ はリサイクル業者が直接回収チャンネルで1単位の使用済み製品を回収するための限界費用を表し、 Δ は回収業者が間接回収チャンネルで1単位の使用済み製品を回収するための限界費用を表す。

以上の設定から、戦略 T、戦略 D、戦略 TD をそれぞれ選択したリサイクル業者 i の利潤を Π_i と表記し、それは次のように表される。なお、以下では S_i はリサイクル業者 i のチャンネル戦略を表す。

$$\Pi_i = (w - b_i - c)q_i^T \quad S_i = T \text{ の場合} \quad (4)$$

$$\Pi_i = (w - p_i^D - \Gamma - c)q_i^D \quad S_i = D \text{ の場合} \quad (5)$$

$$\Pi_i = (w - b_i - c)q_i^T + (w - p_i^D - \Gamma - c)q_i^D \quad S_i = TD \text{ の場合} \quad (6)$$

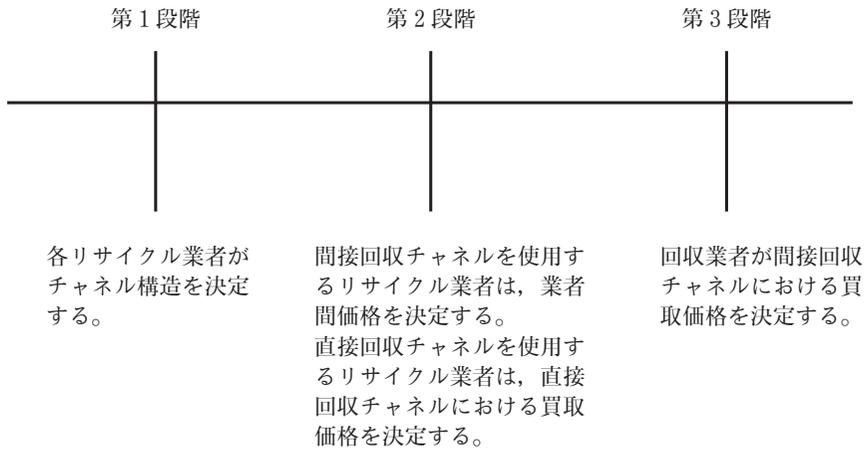
ここで、 w はリサイクル業者が1単位の使用済み製品を扱うことによって得る収入を表し、 c は製品の取り扱い費用を表す。他方で回収業者 i の利潤を π_i と表記し、それは次のように表される。

$$\pi_i = (b_i - p_i^T - \Delta)q_i^T \quad S_i = TD \text{ または } T \text{ の場合} \quad (7)$$

$$\pi_i = 0 \quad S_i = D \text{ の場合} \quad (8)$$

(8)式に示すように、リサイクル業者 i が戦略 D を選択する場合には回収業者 i は利用さ

図2 意思決定の時系列



れないことになるため、その利潤は0となる。

以下では変数の表記を簡略化するために、次の2つの変数を追加的に定義しておく。

$$X \equiv w - c - \alpha - \Delta \quad (9)$$

$$Y \equiv w - c - \alpha - \Gamma$$

X と Y はそれぞれ間接回収チャンネルと直接回収チャンネルにおける収益性を表す変数となる。また、 X 、 Y 、 θ の値に関して、以下の不等式が成立することを予め仮定しておく。

$$\theta X < Y < X/\theta \quad (10)$$

(10)式は、リサイクル業者がそれぞれの回収チャンネルで1つの製品を扱うことによる収益性の X と Y のいずれか一方が、大きすぎずまた小さすぎないことを保証する条件である。この不等式が満たされなければ、どのような環境下であっても、いずれのリサイクル業者も直接回収チャンネルまたは間接回収チャンネルのいずれか一方のみから製品を買い取る方が、常に高い利潤を得られることになる。そのような状況では、本論文のモデルの最も中心的な問題であるリサイクル業者にとってどのチャンネルを利用すべきかという選択を考える必要がなくなってしまう。(10)式を仮定することにより、そのような状況はモデルの考慮の対象外となることが保証される。

次に、それぞれの業者の意思決定の順序は、図2に示されるように仮定しておく。最初に第1段階では、2つのリサイクル業者はそれぞれ戦略 T, D, または TD からチャンネル戦略を決定する。第2段階では、間接回収チャンネルを利用するリサイクル業者は業者間価格を決定し、直接回収チャンネルを使用するリサイクル業者は直接買取価格を決定する。最後に、第3段階では、回収業者が間接買取価格を決定する。これは動学モデルであるため、以下では均衡概念として部分ゲーム完全均衡を用いる。

5 結 果

5.1 利潤

1節で述べたように、フォワードサプライチェーンとは異なり、リバースサプライチェーンでは消費者が特定の企業に対してロイヤルティを持たないことが通常である。したがって、消費者はリサイクル業者のブランドに関係なく、使用済み製品を単純に最も高い買取価格を提示する業者に売却する可能性が高い。このような消費者行動を考慮して、以下では $\lambda=1$ を仮定し、消費者は2つのサプライチェーンが完全に代替的であると知覚する場合に限定して分析を行う。リサイクル業者が選ぶチャンネル戦略のそれぞれの組み合わせから得られる均衡価格をまず求め、そしてその均衡価格に基づいて均衡利潤を次のように得ることができる。

補題1. 各チャンネル戦略の組み合わせにおけるリサイクル業者の均衡利潤は次のように得られる。なお、 Π の上付文字となっている括弧内の最初の文字は、そのリサイクル業者が選択した戦略を意味し、2番目の文字は、他方のリサイクル業者が選択した戦略を表す。

$$\Pi^{(TD,TD)} = \Pi^{(D,TD)} = \Pi^{(D,D)} = \Pi^{(T,TD)} = \Pi^{(T,T)} = 0$$

$$\Pi^{(TD,D)} = \frac{(X - \theta Y)^2}{8\beta(1 - \theta^2)}$$

$$\Pi^{(TD,T)} = \frac{(Y - \theta X)^2}{4\beta(1 - \theta^2)}$$

$$\Pi^{(D,T)} = \frac{(2 - \theta^2)((4 - 3\theta^2)Y - \theta X)^2}{2\beta(1 - \theta^2)(8 - 5\theta^2)^2}$$

$$\Pi^{(T,D)} = \frac{((4 - 3\theta^2)X - \theta(2 - \theta^2)Y)^2}{2\beta(1 - \theta^2)(8 - 5\theta^2)^2}$$

補題1では、対称的なチャンネル戦略となる(TD, TD), (T, T), (D, D)では同種のチャンネル間で価格競争が生じるため、両方のリサイクル業者の利潤が0になることが示されている。一般的な売手寡占モデルでは、複数の企業間で同質財販売の価格引き下げ競争となるベルトラン競争が起こると、販売価格が限界費用まで下がることが均衡となることが示される。このベルトラン競争は、本来、フォワードサプライチェーンにおける販売価格の引き下げ競争を意味するが、この論理はリバースサプライチェーンにおける買取価格の引き上げ競争にもそのまま適用することができる。つまりリバースサプライチェーンで消費者が異なるリサイクル業者が代替的であると知覚すれば、同じ種類の回収チャンネル間では各業者の限界収入に等しくなるまで買取価格を引き上げる競争が発生する。そのため、両方のリサイクル業者が同じ種類のチャンネルを利用した場合、両社とも正の利潤を得ることができなくなる。これに対して、あるリサイクル業者が他の業者が利用していないチャンネルを利用する場合、少な

表2 リサイクル業者2社の利得行列

チャンネル戦略		リサイクル業者2		
		T	D	TD
リサイクル業者1	T	$(\Pi^{(T,T)}, \Pi^{(T,T)})$	$(\Pi^{(T,D)}, \Pi^{(D,T)})$	$(\Pi^{(T,TD)}, \Pi^{(TD,T)})$
	D	$(\Pi^{(D,T)}, \Pi^{(T,D)})$	$(\Pi^{(D,D)}, \Pi^{(D,D)})$	$(\Pi^{(D,TD)}, \Pi^{(TD,D)})$
	TD	$(\Pi^{(TD,T)}, \Pi^{(T,TD)})$	$(\Pi^{(TD,D)}, \Pi^{(D,TD)})$	$(\Pi^{(TD,TD)}, \Pi^{(TD,TD)})$

注：各セルにおける括弧内の1つめの変数と2つめの変数は、それぞれリサイクル業者1とリサイクル業者2の利潤を表す。丸で囲んだ利潤は、その業者が最適反応戦略をとっていることを表している。

くともそのチャンネルでは買取価格競争は発生しないため、補題1に示されているようにその業者は正の利潤を得ることが可能となる。

補題1で示された均衡利潤を比較すると、以下の命題が導かれる。

命題1. 企業の均衡利潤に関して、以下の不等式が成立する。

$$\Pi^{(T,D)} > \Pi^{(TD,D)} > \Pi^{(D,D)} = 0$$

$$\Pi^{(D,T)} > \Pi^{(TD,T)} > \Pi^{(T,T)} = 0$$

$$\Pi^{(TD,TD)} = \Pi^{(T,TD)} = \Pi^{(D,TD)} = 0$$

命題1で示された均衡利潤の関係から、第1段階におけるリサイクル業者の部分ゲーム完全均衡を構成するチャンネル戦略を決定することができる。均衡チャンネル戦略を求めるために、チャンネル戦略によって分類された利得行列を表2に示している。そして命題1に示された結果を用いて、最適反応戦略から得られる利得に丸印を付けている。表の各セルの括弧内の左右の変数はそれぞれリサイクル業者1と2の利潤を表すので、括弧内の利得が両方とも丸で囲まれているセルが均衡となる。表2を参照することで、次の系が得られる。

系1. 部分ゲーム完全均衡を構成するチャンネル戦略の組は、以下の3つである。

$$(S_i, S_j) = (TD, TD), (T, D), (D, T) \quad (i, j) = (1, 2), (2, 1)$$

系1は、次のような対称的なチャンネル選択と非対称的なチャンネル選択の両方の組み合わせが、均衡で生じることを示している。1つめは、両方のリサイクル業者とも直接回収チャンネルと間接回収チャンネルの両方を使用する均衡である。2つめは、一方のリサイクル業者が直接回収チャンネルのみを利用し、他方のリサイクル業者が間接回収チャンネルのみを利用する均

衡である。

5.2 消費者余剰と社会厚生

企業のチャネル戦略を決定する3つの均衡が得られたので、以下ではそれぞれの均衡における消費者余剰と社会厚生を求め¹⁰⁾る。まず消費者余剰に関して、次の補題と命題が得られる。

補題2. (TD, TD), (T, D), (D, T) のそれぞれの均衡における消費者余剰 CS は次のように得られる。なお、CS の上付文字となっている括弧内の最初の文字はリサイクル業者1が選択した戦略を表し、2番目の文字はリサイクル業者2が選択した戦略を表す。

$$\begin{aligned} CS^{(T,D)} &= CS^{(D,T)} \\ &= \frac{(16-20\theta^2+5\theta^4)X^2+2\theta(8-14\theta^2+5\theta^4)XY+(2-\theta^2)^2(16-15\theta^2)Y^2}{8\beta(1-\theta^2)(8-5\theta^2)^2} \\ CS^{(TD,TD)} &= \frac{X^2+Y^2-2\theta XY}{2\beta(1-\theta^2)} \end{aligned}$$

命題2. 3つの均衡 (TD, TD), (T, D), (D, T) で、消費者余剰 CS は (TD, TD) で最大となる。すなわち、次式が成立する。

$$CS^{(TD,TD)} > CS^{(T,D)} = CS^{(D,T)}$$

次に社会厚生について次の補題と命題が得られる。

補題3. (TD, TD), (T, D), (D, T) のそれぞれの均衡における社会厚生 SW は次のように得られる。なお、SW の上付文字となっている括弧内の最初の文字はリサイクル業者1が選択した戦略を表し、2番目の文字はリサイクル業者2が選択した戦略を表す。

$$\begin{aligned} SW^{(T,D)} &= SW^{(D,T)} \\ &= \frac{(112-156\theta^2+55\theta^4)X^2-2\theta(72-86\theta^2+25\theta^4)XY+(192-356\theta^2+220\theta^4-45\theta^6)Y^2}{8\beta(1-\theta^2)(8-5\theta^2)^2} \\ SW^{(TD,TD)} &= \frac{X^2+Y^2-2\theta XY}{2\beta(1-\theta^2)} \end{aligned}$$

命題3. 3つの均衡 (TD, TD), (T, D), (D, T) で、社会厚生 SW は (TD, TD) で最大となる。すなわち、次式が成立する。

$$SW^{(TD,TD)} > SW^{(T,D)} = SW^{(D,T)}$$

命題2と命題3は、リバースサプライチェーンでは両方のリサイクル業者が両方のチャネ

ルを利用する (TD, TD) の均衡において, (T, D) および (D, T) の非対称的な均衡と比較して, 消費者余剰および社会厚生はより大きくなることがわかる。(TD, TD) の均衡では, 補題 1 に示されるようにリサイクル業者の利潤は 0 となるために企業にとっては望ましくない均衡となるが, 全体の社会厚生を考えるならば逆に望ましい均衡になる。この結果は, リバースサプライチェーンでもフォワードサプライチェーンと同様に, 企業がより競争的な環境に直面する時ほど, その利潤である生産者余剰が消費者余剰として還元されることにより社会厚生の合計は高まるという, 標準的な産業組織論のモデルから得られる厚生上の帰結が再現されていると解釈することができる。つまり, フォワードサプライチェーンにおける売手寡占モデルの標準的な経済厚生上の帰結は, リバースサプライチェーンにおける買手寡占モデルでもそのまま再現されることになる。

6 お わ り に

本論文では, 市場の競争を描写する寡占モデルの中でも用いられる機会が少ない買手寡占モデルをとりあげ, それがリバースサプライチェーンの描写に有効に利用できることを示した。特に, 諸外国では大企業を中心にリバースサプライチェーンマネジメントが積極的に行われている現状を考慮して, 最終消費者への製品の販売経路となるフォワードチャンネルではなく, 使用済み製品の回収経路となるリバースチャンネルの描写への買手寡占モデルの応用可能性を探ることとした。具体的には, デュアルリサイクルチャンネルと呼ばれる, 直接回収チャンネルと間接回収チャンネルの 2 種類のリバースチャンネルを利用することができる, 2 つのリサイクル業者間の買取価格競争モデルを構築し, 各業者はどの回収チャンネルを利用することが最適かを探った。フォワードチャンネルを描写する売手寡占のモデルでは消費者による製品への需要関数システムが用いられてきたが, これとちょうど対照的に, 消費者による使用済み製品の供給関数システムを用いることで, リバースチャンネルを描写する買手寡占のモデルを構築できることがわかった。

モデルを解くことにより, 両方のリサイクル業者が直接回収チャンネルと間接回収チャンネルの両方を利用する均衡と, 一方のリサイクル業者が直接回収チャンネルのみを利用して他方のリサイクル業者が間接回収チャンネルのみを利用する均衡が生じることが明らかとなった。そして, このそれぞれの均衡のもとでの消費者余剰と社会厚生を求めた。結果として, 企業にとっては 2 つめの非対称的な均衡では正の利潤を確保できるが, 消費者余剰および全体の社会厚生にとっては 1 つめの対称的な均衡の方がより大きくなることが示された。両方のチャンネルをとおして 2 つのリサイクル業者が全面的に買取価格競争を行う場合には業者にとって望ましくない結果をもたらすが, 消費者余剰は企業利潤の減少分を補って余りあるだけ増大するために, 結果として社会厚生は最大になるという経済厚生上の含意が得られた。つまり,

価格競争の圧力がより強まり、それにより生産者余剰ができるだけ消費者余剰へ還元される状況の方が社会厚生としては望ましいという、フォワードサプライチェーンを描写する売手寡占モデルの標準的な結果は、リバースサプライチェーンを描写する買手寡占モデルでも同様に再現されることになった。これらの結果は、複数企業の間関係を分析対象とするサプライチェーンマネジメントの研究で、買手寡占モデルを広範に利用できる可能性を示唆している。

補論

補題1の証明

この証明では、リサイクル業者が選ぶチャンネル戦略のそれぞれの組み合わせから得られる均衡価格および利潤を求める。

ケース (i) : 戦略 (D, D)

このケースでは、消費者は直接回収チャンネルにのみ使用済み製品を売却することができる。したがって、リサイクル業者 $i (=1, 2)$ の利潤は(5)式のように表される。リサイクル業者1と2は p_1^D と p_2^D をそれぞれ決定する。以下では唯一の均衡買取価格は $p_1^D = p_2^D = w - \Gamma - c$ となることを証明する。このためにまず、 $p_1^D < p_2^D$ の状態は均衡でないことを示す。

まず、消費者の製品売却に関する選好はリサイクル業者1とリサイクル業者2の間で無差別であるため、消費者は単純に高い買取価格を提示するリサイクル業者に売却する。このような消費者の行動のもとでは、 $p_1^D < p_2^D$ のときにはリサイクル業者1は製品を買い取れなくなるため、利潤は0となる。しかし p_1^D を p_2^D より少し高くすることで、消費者からすべての製品を買い取ることができるため、リサイクル業者1の利潤は正になる。つまり、 $p_1^D < p_2^D$ の状態はリサイクル業者1が最適反応戦略をとっていないため均衡ではない。同様に、 $p_2^D < p_1^D$ の状態も均衡ではない。このような2社の買取価格引き上げ競争は、その上限である $p_1^D = p_2^D = w - \Gamma - c$ に到達するまで続く。両社とも、この水準以上に買取価格を上げるならば利潤が負になる。このため、戦略 (D, D) の場合の均衡では次式が成立する。

$$p_1^D = p_2^D = w - \Gamma - c \quad (\text{A1})$$

(A1)式を(5)式に代入すると、均衡利潤は $\Pi_1 = \Pi_2 = 0$ として得られる。

ケース (ii) : 戦略 (T, T)

このケースでは、消費者は間接回収チャンネルにのみ製品を売却することができる。このため、回収業者 $i (=1, 2)$ の利潤は(7)式で表される。消費者は2つのサプライチェーンを完全に代替的であると知覚しているため、2つの回収業者はそれぞれ、均衡においては利潤が負にならない範囲内で、できるだけ高い買取価格を提示する。これはケース (i) : 戦略 (D, D) で示された価格競争に相当するため、均衡買取価格は回収業者の限界収入である $b_1 - \Delta$ と $b_2 - \Delta$ のうち低い方で決定される。すなわち、第3段階における均衡買取価格は次式となる。

$$\begin{aligned} p_1^T = p_2^T &= b_2 - \Delta & b_1 > b_2 \text{ の場合} \\ p_1^T = p_2^T &= b_1 - \Delta & b_1 \leq b_2 \text{ の場合} \end{aligned} \quad (\text{A2})$$

次に、リサイクル業者 $i(=1, 2)$ の利潤は(4)式で表される。第2段階では、リサイクル業者1が b_1 、リサイクル業者2が b_2 を決定する。ここで、(4)式と(7)式から部分ゲーム完全均衡を構成する業者間価格の組み合わせは $b_1=b_2$ のみであることがわかる。これは、 $b_1>b_2$ の場合、回収業者2は製品を買い取れなくなるため、回収業者2をとおして製品を回収するリサイクル業者2の利潤が0になるためである。この場合、リサイクル業者2は b_2 を b_1 より少し高い水準に引き上げることで、回収業者1からすべての製品の買取シェアを奪い、利潤を増加させることができる。このようなりサイクル業者間の業者間価格の引き上げ競争は $b_1=b_2=w-c$ の水準まで続き、その状態で両社とも業者間価格を変更する動機を持たなくなる。そのため、この状態のみが均衡となる。(A2)式に $b_1=b_2=w-c$ を代入し、(4)式に $p_1^T=p_2^T=w-c-\Delta$ と $b_1=b_2=w-c$ を代入すると、均衡利潤は $\Pi_1=\Pi_2=0$ となる。

ケース (iii)：戦略 (TD, TD)

このケースでは両方のリサイクル業者とも間接回収チャンネルと直接回収チャンネルの両方を利用するため、リサイクル業者 i と回収業者 $i(=1, 2)$ の利潤はそれぞれ(6)式と(7)式で表される。第3段階では回収業者 i は(7)式を最大化するが、ケース (ii)：戦略 (T, T) と同様にそれぞれの回収業者は利潤が負にならない範囲内で買取価格をできるだけ高く設定することになる。したがって間接回収チャンネルにおける均衡買取価格は次のようになる。

$$\begin{aligned} p_1^T &= p_2^T = b_2 - \Delta & \text{if } b_1 > b_2 \\ p_1^T &= p_2^T = b_1 - \Delta & \text{if } b_1 \leq b_2 \end{aligned} \quad (\text{A3})$$

第2段階では、リサイクル業者1が b_1 、リサイクル業者2が b_2 を決定する。ケース (ii)：戦略 (T, T) と同様に、部分ゲーム完全均衡を構成する業者間価格の組み合わせは $b_1=b_2=w-c$ のみである。これは、各社の業者間価格の引き上げ競争が $b_1=b_2=w-c$ の水準に達するまで続き、その時点で両社とも業者間価格を変更する動機を持たなくなるからである。したがって、この戦略 (TD, TD) の場合の均衡では、次式が成り立つ。

$$b_1 = b_2 = w - c \quad (\text{A4})$$

(A4)式を(A3)式に代入すると、 $p_1^T=p_2^T=w-c-\Delta$ となる。

次に、リサイクル業者による直接買取価格の決定を考える。ケース (i)：戦略 (D, D) と同様にこの2社間の買取価格競争は、その上限である $p_1^D=p_2^D=w-c-\Gamma$ に達するまで続くことになるから、均衡では次式が成立する。

$$p_1^D = p_2^D = w - c - \Gamma \quad (\text{A5})$$

(A4)式と(A5)式を(6)式に代入すると、均衡利潤として $\Pi_1=\Pi_2=0$ が得られる。

ケース (iv)：戦略 (T, D)

このケースでは、一般性を失うことなくリサイクル業者1が戦略 T を選択し、リサイクル業者2が戦略 D を選択する状況を考える。したがって $q_1^D=0$ 、 $q_2^T=0$ を(3)式に代入してそれらを q_1^T と q_2^D について解くと、以下の供給関数が得られる。

$$q_1^T = (p_1^T - \theta p_2^D - (1-\theta)\alpha) / (\beta(1-\theta^2)) \quad (\text{A6})$$

$$q_2^D = (p_2^D - \theta p_1^T - (1-\theta)\alpha) / (\beta(1-\theta^2)) \quad (\text{A7})$$

(4)式、(5)式、(7)式を用いると、回収業者1および各リサイクル業者の利潤は次のように表

される。

$$\pi_1 = (b_1 - p_1^T - \Delta)q_1^T \quad (\text{A8})$$

$$\Pi_1 = (w - b_1 - c)q_1^T \quad (\text{A9})$$

$$\Pi_2 = (w - p_2^D - \Gamma - c)q_2^D \quad (\text{A10})$$

(A6)式の供給関数を(A8)式に代入すると、回収業者1の利潤は次のようになる。

$$\pi_1 = (b_1 - p_1^T - \Delta)(p_1^T - \theta p_2^D - (1 - \theta)\alpha) / (\beta(1 - \theta^2)) \quad (\text{A11})$$

回収業者1は、第3段階において $\partial\pi_1/\partial p_1^T = 0$ を解くことにより、 p_1^T に関して自らの利潤を最大化する。

$$p_1^T = (b_1 + \theta p_2^D - \Delta + (1 - \theta)\alpha) / 2 \quad (\text{A12})$$

なお本論文のモデルでは一貫して線形の供給関数システムを用いているため、企業の目的関数となる利潤関数はすべて決定変数である価格について凹関数となる。このため、利潤最大化のための2階条件はすべて成立するから、以下ではそれらを省略する。

(A6)式、(A7)式、(A12)式を(A9)式、(A10)式の Π_1 、 Π_2 に代入した後、第2段階において $\partial\Pi_1/\partial b_1 = \partial\Pi_2/\partial p_2^D = 0$ を解くと次式が得られる。

$$b_1 = w - c + (\theta(2 - \theta^2)Y - (4 - 3\theta^2)X) / (8 - 5\theta^2) \quad (\text{A13})$$

$$p_2^D = (2(2 - \theta^2)Y + \theta X) / (8 - 5\theta^2) + \alpha$$

(A6)式、(A7)式、(A12)式、(A13)式を(A9)式、(A10)式に代入すると、次の均衡利潤が得られる。

$$\Pi_1 = \frac{((4 - 3\theta^2)X - \theta(2 - \theta^2)Y)^2}{2\beta(1 - \theta^2)(8 - 5\theta^2)^2} \quad (\text{A14})$$

$$\Pi_2 = \frac{(2 - \theta^2)((4 - 3\theta^2)Y - \theta X)^2}{2\beta(1 - \theta^2)(8 - 5\theta^2)^2} \quad (\text{A15})$$

リサイクル業者1がTを、リサイクル業者2がDを選択する状況を考えているため、(A14)式と(A15)式はそれぞれ $\Pi^{(T,D)}$ と $\Pi^{(D,T)}$ に相当する。

ケース(v)：戦略(TD, D)

このケースでは、一般性を失うことなくリサイクル業者1がTDを、リサイクル業者2がDを選択する状況を考える。このため $q_2^T = 0$ を(3)式に代入し、それを q_1^T と $q_1^D + q_2^D$ について解くと次の供給関数が得られる。

$$q_1^T = (p_1^T - \theta p_1^D - (1 - \theta)\alpha) / (\beta(1 - \theta^2)) \quad (\text{A16})$$

$$q_1^D + q_2^D = ((1 + \theta^2)p_1^D + (1 - \theta^2)p_2^D - 2\theta p_1^T - 2(1 - \theta)\alpha) / (2\beta(1 - \theta^2)) \quad (\text{A17})$$

(5)式、(6)式、(7)式を用いると、回収業者1とリサイクル業者の利潤は、次のようになる。

$$\pi_1 = (b_1 - p_1^T - \Delta)q_1^T \quad (\text{A18})$$

$$\Pi_1 = (w - b_1 - c)q_1^T + (w - p_1^D - \Gamma - c)q_1^D \quad (\text{A19})$$

$$\Pi_2 = (w - p_2^D - \Gamma - c)q_2^D \quad (\text{A20})$$

(A16)式の供給関数を(A18)式に代入すると、回収業者1の利潤は次のようになる。

$$\pi_1 = (b_1 - p_1^T - \Delta)(p_1^T - \theta p_1^D - (1 - \theta)\alpha) / (\beta(1 - \theta^2)) \quad (\text{A21})$$

回収業者1は p_1^T に関してその利潤を最大化する。 $\partial\pi_1/\partial p_1^T = 0$ を解くことにより次式が得られる。

$$p_1^T = (b_1 + \theta p_1^D - \Delta + (1 - \theta)\alpha) / 2 \quad (\text{A22})$$

次に、リサイクル業者1と2は直接回収チャンネルにおける買取価格 p_1^D と p_2^D をそれぞれ決定する。ケース (i)：戦略 (D, D) と同様に、リサイクル業者間の価格競争により買取価格は次式のように $w-c-\Gamma$ の水準に達するまで上昇する。

$$p_1^D = p_2^D = w - c - \Gamma \quad (\text{A23})$$

(A16)式、(A22)式、(A23)式を(A19)式に代入し、 $\partial \Pi_1 / \partial b_1 = 0$ を解くと、次のようになる。

$$b_1 = w - c + (\theta Y - X) / 2 \quad (\text{A24})$$

(A16)式、(A22)式、(A23)式、(A24)式を(A19)式、(A20)式に代入すると、均衡利潤となる次式が得られる。

$$\Pi_1 = \frac{(X - \theta Y)^2}{8\beta(1 - \theta^2)} \quad (\text{A25})$$

$$\Pi_2 = 0 \quad (\text{A26})$$

リサイクル業者1がTDを、リサイクル業者2がDを選択する状況を考えているため、(A25)式と(A26)式がそれぞれ $\Pi^{(\text{TD}, \text{D})}$ と $\Pi^{(\text{D}, \text{TD})}$ に相当する。

ケース (vi)：戦略 (TD, T)

一般性を失うことなく、リサイクル業者1がTDを、リサイクル業者2がTを選択すると仮定する。 $q_2^D = 0$ を(3)式に代入し、それを q_1^D と $q_1^T + q_2^T$ について解くと、次の供給関数を得られる。

$$q_1^D = (p_1^D - \theta p_1^T - (1 - \theta)\alpha) / (\beta(1 - \theta^2))$$

$$q_1^T + q_2^T = ((1 + \theta^2)p_1^T + (1 - \theta^2)p_2^T - 2\theta p_1^D - 2(1 - \theta)\alpha) / (2\beta(1 - \theta^2))$$

これらの供給関数と(4)式、(6)式、(7)式を用いると、リサイクル業者および回収業者 i の利潤はそれぞれ次のようになる。

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= (w - b_1 - c)q_1^T + (w - p_1^D - \Gamma - c)q_1^D \\ &= (w - b_1 - c)q_1^T + (w - p_1^D - \Gamma - c) \left(\frac{p_1^D - \theta p_1^T - (1 - \theta)\alpha}{\beta(1 - \theta^2)} \right) \end{aligned} \quad (\text{A27})$$

$$\Pi_2 = (w - b_2 - c)q_2^T \quad (\text{A28})$$

$$\pi_i = (b_i - p_i^T - \Delta)q_i^T \quad (\text{A29})$$

第3段階において、回収業者 i は(A29)式を最大化する。ここで、ケース (ii)：戦略 (T, T) と同様に、間接回収チャンネルにおける均衡買取価格は、 $b_1 \geq b_2$ の場合、 $p_1^T = p_2^T = b_2 - \Delta$ 、 $b_1 < b_2$ の場合、 $p_1^T = p_2^T = b_1 - \Delta$ となるが、回収業者は均衡において利潤が負にならない範囲内でできるだけ高い買取価格を設定する。このことを見越して、第2段階ではリサイクル業者1は b_1 、リサイクル業者2は b_2 を決定するが、部分ゲーム完全均衡を構成する価格の組み合わせは $b_1 = b_2$ だけとなる。なぜなら、各社がそれぞれの業者間価格を引き上げる競争は、価格が $b_1 = b_2 = w - c$ の水準に達するまで続き、その状態では両社とも業者間価格を変更する動機を持たなくなるからである。したがって、均衡では次式が成立する。

$$b_1 = b_2 = w - c \quad (\text{A30})$$

次に、第2段階における p_1^D を決定するためのリサイクル業者1の最大化問題を考える。(A30)式を(A27)式の Π_1 に代入した後、 $\partial \Pi_1 / \partial p_1^D = 0$ を解くと次式が得られる。

$$p_1^D = (\theta(w - c - \Delta) + (w - c - \Gamma) + (1 - \theta)\alpha) / 2 \quad (\text{A31})$$

$p_1^T = w - c - \Delta$ 、(A30)式、(A31)式を(A27)式と(A28)式に代入すると、次の均衡利潤が得られる。

$$\Pi_1 = \frac{(Y - \theta X)^2}{4\beta(1 - \theta^2)} \quad (\text{A32})$$

$$\Pi_2 = 0 \quad (\text{A33})$$

リサイクル業者1が戦略TDを、リサイクル業者2が戦略Tを選択する状況を考えているため、(A32)式と(A33)式はそれぞれ $\Pi^{(\text{TD}, \text{T})}$ と $\Pi^{(\text{T}, \text{TD})}$ に相当する。□

命題1の証明

(i) $\Pi^{(\text{T}, \text{D})} > \Pi^{(\text{TD}, \text{D})}$ の証明

補題1から次式が成立する。

$$\begin{aligned} & \Pi^{(\text{T}, \text{D})} - \Pi^{(\text{TD}, \text{D})} \\ &= \frac{\theta(- (16\theta - 11\theta^3)X^2 + 2(32 - 40\theta^2 + 13\theta^4)XY - \theta(48 - 64\theta^2 + 21\theta^4)Y^2)}{8\beta(1 - \theta^2)(8 - 5\theta^2)^2} \end{aligned} \quad (\text{A34})$$

(A34)式の分子に含まれる $- (16\theta - 11\theta^3)X^2 + 2(32 - 40\theta^2 + 13\theta^4)XY - \theta(48 - 64\theta^2 + 21\theta^4)Y^2$ の符号を判別する。まず、 $0 < \theta < 1$ であるから X^2 の係数である $- (16\theta - 11\theta^3)$ は負となるため、この式は X に対して凹関数である。したがって、この式は X が(10)式で仮定した定義域の端点である $X = \theta Y$ または $X = Y/\theta$ のいずれかにおいて最小値をとる。まず $X = \theta Y$ をこの式に代入すると、 $16\theta(1 - \theta^2)^2 Y^2$ という正の値が得られる。次に $X = Y/\theta$ をこの式に代入すると、 $3(1 - \theta^2)^2(16 - 7\theta^2)Y^2/\theta$ という正の値が得られる。したがって、(A34)式は $\theta Y < X < Y/\theta$ の定義域内では常に正であり、このことは $\Pi^{(\text{T}, \text{D})} - \Pi^{(\text{TD}, \text{D})} > 0$ が成立することを意味する。

(ii) $\Pi^{(\text{TD}, \text{D})} > \Pi^{(\text{D}, \text{D})}$ の証明

補題1の $\Pi^{(\text{TD}, \text{D})} = (X - \theta Y)^2 / (8\beta(1 - \theta^2))$ と $\Pi^{(\text{D}, \text{D})} = 0$ より、 $\Pi^{(\text{TD}, \text{D})} > \Pi^{(\text{D}, \text{D})}$ が成立する。

(iii) $\Pi^{(\text{D}, \text{T})} > \Pi^{(\text{TD}, \text{T})}$ の証明

補題1から次式が得られる。

$$\begin{aligned} & \Pi^{(\text{D}, \text{T})} - \Pi^{(\text{TD}, \text{T})} \\ &= \frac{\theta(-\theta(48 - 59\theta^2 + 18\theta^4)Y^2 + 2(48 - 60\theta^2 + 19\theta^4)XY - \theta(60 - 78\theta^2 + 25\theta^4)X^2)}{4\beta(1 - \theta^2)(8 - 5\theta^2)^2} \end{aligned} \quad (\text{A35})$$

(A35)式の分子に含まれる $-\theta(48 - 59\theta^2 + 18\theta^4)Y^2 + 2(48 - 60\theta^2 + 19\theta^4)XY - \theta(60 - 78\theta^2 + 25\theta^4)X^2$ の符号を判別する。まず、 $0 < \theta < 1$ であるから X^2 の係数である $-\theta(60 - 78\theta^2 + 25\theta^4)$ は負となるため、この式は X に対して凹関数である。したがって、この式は(10)式で仮定した定義域の端点である $X = \theta Y$ または $X = Y/\theta$ のいずれかにおいて最小値をとる。まず $X = \theta Y$ をこの式に代入すると、 $\theta(1 - \theta^2)^2(48 - 25\theta^2)Y^2$ という正の値が得られる。次に $X = Y/\theta$ をこの式に代入すると、 $(18(2 - \theta^2)(1 - \theta^2)^2 Y^2)/\theta$ という正の値が得られる。したがって(A35)式は $\theta Y < X < Y/\theta$ の定義域内では常に正であり、このことは $\Pi^{(\text{D}, \text{T})} - \Pi^{(\text{TD}, \text{T})} > 0$ が成立することを意味する。

(iv) $\Pi^{(\text{TD}, \text{T})} > \Pi^{(\text{T}, \text{T})}$ の証明

補題1の $\Pi^{(\text{TD}, \text{T})} = (Y - \theta X)^2 / (4\beta(1 - \theta^2))$ と $\Pi^{(\text{T}, \text{T})} = 0$ より、 $\Pi^{(\text{TD}, \text{T})} > \Pi^{(\text{T}, \text{T})}$ が成立する。

(v) $\Pi^{(TD,TD)} = \Pi^{(T,TD)} = \Pi^{(D,TD)}$ の証明

補題 1 より $\Pi^{(TD,TD)} = \Pi^{(T,TD)} = \Pi^{(D,TD)} = 0$ が成立する。 □

系 1 の証明

表 2 は、第 1 段階における 2 つのリサイクル業者にとっての利得行列を表す。丸で囲われた利得は、各リサイクル業者が最適反応戦略をとっていることを意味する。括弧内の左の変数はリサイクル業者 1 の利潤、右の変数はリサイクル業者 2 の利潤を表すので、両方の利潤が丸で囲われているセルが部分ゲーム完全均衡を構成する。 □

補題 2 の証明

補題 1 の証明のケース (iii) : 戦略 (TD, TD) とケース (iv) : 戦略 (T, D) で得られたすべての均衡価格を (2) 式へそれぞれ代入することにより、この補題は得られる。 □

命題 2 の証明

補題 2 から次式が成立する。

$$\begin{aligned} & CS^{(TD,TD)} - CS^{(T,D)} \\ &= \frac{5(48 - 60\theta^2 + 19\theta^4)X^2 - 2\theta(264 - 334\theta^2 + 105\theta^4)XY + (192 - 196\theta^2 + 24\theta^4 + 15\theta^6)Y^2}{8\beta(1 - \theta^2)(8 - 5\theta^2)^2} \quad (A36) \end{aligned}$$

(A36) 式の分子に含まれる $5(48 - 60\theta^2 + 19\theta^4)X^2 - 2\theta(264 - 334\theta^2 + 105\theta^4)XY + (192 - 196\theta^2 + 24\theta^4 + 15\theta^6)Y^2$ の符号を判別する。 $0 < \theta < 1$ なので、 X^2 の係数である $5(48 - 60\theta^2 + 19\theta^4)$ は正となるため、この式は X に対して凸関数である。したがって、 $5(48 - 60\theta^2 + 19\theta^4)X^2 - 2\theta(264 - 334\theta^2 + 105\theta^4)XY + (192 - 196\theta^2 + 24\theta^4 + 15\theta^6)Y^2$ は、それを X について偏微分すると 0 となるときの X の値をとるときに最小値をとる。その値は、 $X = (\theta(264 - 334\theta^2 + 105\theta^4)Y) / (5(48 - 60\theta^2 + 19\theta^4))$ である。この値を $5(48 - 60\theta^2 + 19\theta^4)X^2 - 2\theta(264 - 334\theta^2 + 105\theta^4)XY + (192 - 196\theta^2 + 24\theta^4 + 15\theta^6)Y^2$ に代入すると、 $(48(8 - 13\theta^2 + 5\theta^4)^2(15 - 8\theta^2)Y^2) / (5(48 - 60\theta^2 + 19\theta^4))$ という正の値が得られる。したがって (A36) 式は常に正であり、 $CS^{(TD,TD)} > CS^{(T,D)} = CS^{(D,T)}$ が成立する。 □

補題 3 の証明

補題 1 の証明のケース (iii) : 戦略 (TD, TD) とケース (iv) : 戦略 (T, D) で得られたそれぞれの均衡価格を、社会厚生を SW に相当する $\Pi_1 + \Pi_2 + \pi_1 + \pi_2 + CS$ へ代入することにより、この補題は得られる。 □

命題 3 の証明

補題 1 から次式が成立する。

$$\begin{aligned} & SW^{(TD,TD)} - SW^{(T,D)} \\ &= \frac{(144 - 164\theta^2 + 45\theta^4)X^2 - 2\theta(184 - 234\theta^2 + 75\theta^4)XY + (64 + 36\theta^2 - 120\theta^4 + 45\theta^6)Y^2}{8\beta(1 - \theta^2)(8 - 5\theta^2)^2} \quad (A37) \end{aligned}$$

(A37) 式の分子に含まれる $(144 - 164\theta^2 + 45\theta^4)X^2 - 2\theta(184 - 234\theta^2 + 75\theta^4)XY + (64 + 36\theta^2 - 120\theta^4 + 45\theta^6)Y^2$ の符号を判別する。 $0 < \theta < 1$ なので、 X^2 の係数である $144 - 164\theta^2 + 45\theta^4$ は正となるため、

この式は X に対して凸関数である。したがって、 $(144-164\theta^2+45\theta^4)X^2-2\theta(184-234\theta^2+75\theta^4)XY+(64+36\theta^2-120\theta^4+45\theta^6)Y^2$ は、それを X について偏微分すると 0 となるときの X の値をとるときに最小値をとる。その値は、 $X=(\theta(184-234\theta^2+75\theta^4)Y)/(144-164\theta^2+45\theta^4)$ である。この値を $(144-164\theta^2+45\theta^4)X^2-2\theta(184-234\theta^2+75\theta^4)XY+(64+36\theta^2-120\theta^4+45\theta^6)Y^2$ に代入すると、 $(144(8-5\theta^2)^2(1-\theta^2)^3Y^2)/(144-164\theta^2+45\theta^4)$ という正の値が得られる。したがって(A37)式は常に正であり、 $SW^{(TD,TD)} > SW^{(T,D)} = SW^{(D,T)}$ が成立する。□

注

本論文は、神戸大学文理融合フェローシップ、JSPS 科学研究費補助金の基盤研究 (B) (20H01551, 22H00863)、および基盤研究 (C) (18K01568) の助成を受けた成果の一部である。

- 1) 買手寡占モデルは、経済学における農業経済学や労働経済学の実証研究のための枠組みとして利用されることがある (Rogers and Sexton, 1994; Bhaskar et al., 2002)。前者では農産物を買上げる企業が、後者では生産要素となる労働の需要者である企業が、それぞれ市場支配力を持つ状況が現実的に観察されるためである。例えば、労働市場における経済厚生の上昇のために、賃金の下限を規制する最低賃金制の根拠として、買手独占・寡占モデルが利用されることがある。これは電力・ガスなどの、市場支配力を持つ企業により供給される財の販売価格の上限が規制される根拠として、売手独占・寡占モデルが利用されることにちょうど対応する。
- 2) なお、これらはそれぞれ「フォワードサプライチェーン」と「リバースサプライチェーン」と呼ばれることもある。
- 3) これは英語では“dual-recycling channel reverse supply chain”と記述されるが、本論文ではこれを一貫して「デュアルリサイクルチャネル・リバースサプライチェーン」あるいは単に「デュアルリサイクルチャネル」と呼ぶ。
- 4) こうした各国でのリサイクル業者間の買取価格競争の複数の事例は Matsui (2022, 2023) にまとめられている。
- 5) フォワードサプライチェーンとリバースサプライチェーンの両方を統合したサプライチェーンは「クローズドループサプライチェーン (closed-loop supply chain)」と呼ばれ、学術と実務の双方から重要なトピックとなっている。これは「循環型サプライチェーン」と記述されることが多い。
- 6) デュアルチャネル・サプライチェーンマネジメントに関する先行研究では、消費者に製品を販売するフォワードサプライチェーンにより強い焦点が当てられてきた (Alawneh and Zhang, 2018; Chiang et al., 2003; Dumrongsiri et al., 2008; Hua et al., 2010; Li et al., 2014; Matsui, 2016, 2017, 2020; Yan et al., 2018; Hamamura and Zenryo, 2021)。そのため、デュアルリサイクルチャネル・リバースサプライチェーンを描写するモデルは、もともとデュアルチャネル・フォワードサプライチェーンを記述するモデルの枠組みを応用してきたと解釈することもできる。
- 7) モデルは欧州における reBuy と Momox、あるいは中国における愛回收と回收哥といったリサイクル業者間の競争を描写している。
- 8) ここでは代表的消費者が特定の不効用関数で特徴付けられるという、いわゆる消費者の住所なしモデルを考えているが、例えば Wu (2015) は消費者が店舗まで使用済み製品の売却に行くための物理的な移動費用を負担するという住所ありのリバースサプライチェーンモデルを考えてい

る。このように、消費者の不効用は使用済み製品の売却にともない消費者が負担しなければならないすべての費用を表していると解釈できる。

- 9) Singh and Vives (1984) は代表的消費者の特定の効用関数から線形の需要関数システムが導出されることを示している。これを受け、流通の数理モデルの研究書である Ingene and Parry (2004) の第11章では、その導出が流通システムにおけるフォワードチャンネルの多様な競争環境を描写するために利用できることが示されている。つまり Singh and Vives (1984) と Ingene and Parry (2004) は特定の効用関数からの需要関数システムの導出過程を示しているが、本論文ではその過程をそのまま、(1)式の不効用関数から(3)式の使用済み製品の供給関数システムの導出に応用できることを示している。
- 10) なお、本論文のモデルの基本的な構造は Matsui (2023) に依拠しているが、本節に示されている消費者余剰および社会厚生に関する結果は本論文における独自の分析結果となる。

参 考 文 献

- Alawneh, F., Zhang, G., 2018. "Dual-channel Warehouse and Inventory Management with Stochastic Demand." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 112, 84-106.
- Bhaskar, V., Manning, A., To, T., 2002. "Oligopsony and Monopsonistic Competition in Labor Markets." *Journal of Economic Perspectives* 16(2), 155-174.
- Bulmus, S.C., Zhu, S.X., Teunter, R.H., 2014. "Competition for Cores in Remanufacturing." *European Journal of Operational Research* 233(1), 105-113.
- Chiang, W.-Y.K., Chhajed, D., Hess, J.D., 2003. "Direct Marketing, Indirect Profits: A Strategic Analysis of Dual-channel Supply-chain Design." *Management Science* 49(1), 1-20.
- Choi, T.-M., Li, Y., Xu, L., 2013. "Channel Leadership, Performance and Coordination in Closed Loop Supply Chains." *International Journal of Production Economics* 146(1), 371-380.
- Dumrongsiri, A., Fan, M., Jain, A., Moizadeh, K., 2008. "A Supply Chain Model with Direct and Retail Channels." *European Journal of Operational Research* 187(3), 691-718.
- Feng, L., Govindan, K., Li, C., 2017. "Strategic Planning: Design and Coordination for Dual-recycling Channel Reverse Supply Chain Considering Consumer Behavior." *European Journal of Operational Research* 260(2), 601-612.
- Govindan, K., Soleimani, H., Kannan, D., 2015. "Reverse Logistics and Closed-loop Supply Chain: A Comprehensive Review to Explore the Future." *European Journal of Operational Research* 240(3), 603-626.
- Guo, S., Shen, B., Choi, T.-M., Jung, S., 2017. "A Review on Supply Chain Contracts in Reverse Logistics: Supply Chain Structures and Channel Leaderships." *Journal of Cleaner Production* 144, 387-402.
- Hamamura, J., Zenny, Y., 2021. "Retailer Voluntary Investment against a Threat of Manufacturer Encroachment." *Marketing Letters* 32(4), 379-395.
- He, Y., 2015. "Acquisition Pricing and Remanufacturing Decisions in a Closed-loop Supply Chain." *International Journal of Production Economics* 163, 48-60.
- He, Q., Wang, N., Yang, Z., He, Z., Jiang, B., 2019. "Competitive Collection under Channel Inconvenience in Closed-loop Supply Chain." *European Journal of Operational Research* 275(1), 155-166.

- Heydari, J., Govindan, K., Sadeghi, R., 2018. "Reverse Supply Chain Coordination under Stochastic Remanufacturing Capacity." *International Journal of Production Economics* 202, 1-11.
- Hong, X., Wang, Z., Wang, D., Zhang, H., 2013. "Decision Models of Closed-loop Supply Chain with Remanufacturing under Hybrid Dual-channel Collection." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 68(5-8), 1851-1865.
- Hua, G., Wang, S., Cheng, T.C.E., 2010. "Price and Lead Time Decisions in Dual-channel Supply Chains." *European Journal of Operational Research* 205(1), 113-126.
- Huang, M., Song, M., Lee, L.H., Ching, W.K., 2013. "Analysis for Strategy of Closed-loop Supply Chain with Dual Recycling Channel." *International Journal of Production Economics* 144(2), 510-520.
- Ingene, C.A., Parry, M.E., 2004. *Mathematical Models of Distribution Channels*. Springer.
- Jin, L., Zheng, B., Huang, S., 2021. "Pricing and Coordination in a Reverse Supply Chain with Online and Offline Recycling Channels: A Power Perspective." *Journal of Cleaner Production* 298, 126786.
- Li, C., Feng, L., Luo, S., 2019. "Strategic Introduction of an Online Recycling Channel in the Reverse Supply Chain with a Random Demand." *Journal of Cleaner Production* 236, 117683.
- Li, Z., Gilbert, S.M., Lai, G., 2014. "Supplier Encroachment under Asymmetric Information." *Management Science* 60(2), 449-462.
- Matsui, K., 2016. "Asymmetric Product Distribution between Symmetric Manufacturers using Dual-channel Supply Chains." *European Journal of Operational Research* 248(2), 646-657.
- Matsui, K., 2017. "When Should a Manufacturer Set Its Direct Price and Wholesale Price in Dual-channel Supply Chains?" *European Journal of Operational Research* 258(2), 501-511.
- Matsui, K., 2020. "Optimal Bargaining Timing of a Wholesale Price for a Manufacturer with a Retailer in a Dual-channel Supply Chain." *European Journal of Operational Research* 287(1), 225-236.
- Matsui, K., 2022. "Optimal Timing of Acquisition Price Announcement for Used Products in a Dual-Recycling Channel Reverse Supply Chain." *European Journal of Operational Research* 300(2), 615-632.
- Matsui, K., 2023. "Dual-recycling Channel Reverse Supply Chain Design of Recycling Platforms under Acquisition Price Competition." *International Journal of Production Economics* 259, 108769.
- Neuhaus, E., 2018. "Wie Geht Es dem Gebrauchtgüter-Händler Rebuy? (How is the Used Goods Dealer Rebuy Doing?)" *Gruenderszene Business*, <https://www.gruenderszene.de/business/geschaeftszahlen-2017-rebuy>, accessed on June 22, 2023.
- Ranjbar, S., Sahebi, H., Ashayeri, J., Teymouri, A., 2020. "A Competitive Dual Recycling Channel in a Three-level Closed Loop Supply Chain under Different Power Structures: Pricing and Collecting Decisions." *Journal of Cleaner Production* 272, 122623.
- Rogers, R.T., Sexton, R.J., 1994. "Assessing the Importance of Oligopsony Power in Agricultural Markets." *American Journal of Agricultural Economics* 76(5), 1143-1150.
- Savaskan, R.C., Bhattacharya, S., van Wassenhove, L.N., 2004. "Closed-loop Supply Chain Models with Product Remanufacturing." *Management Science* 50(2), 239-252.
- Savaskan, R.C., van Wassenhove, L.N., 2006. "Reverse Channel Design: The Case of Competing Retailers." *Management Science* 52(1), 1-14.

- Singh, N., Vives, X., 1984. "Price and Quantity Competition in a Differentiated Duopoly." *RAND Journal of Economics* 15(4), 546-554.
- Song, X., Wang, J., Yang, J., Lu, B., 2017. "An Updated Review and Conceptual Model for Optimizing WEEE Management in China from a Life Cycle Perspective." *Frontiers of Environmental Science & Engineering* 11(5), 3.
- Taleizadeh, A.A., Sadeghi, R., 2019. "Pricing Strategies in the Competitive Reverse Supply Chains with Traditional and E-channels: A Game Theoretic Approach." *International Journal of Production Economics* 215, 48-60.
- Wang, H., Han, H., Liu, H., Tian, X., Xu, M., Wu, Y., Gu, Y., Liu, Y., Zuo, T., 2018. "'Internet +' Recyclable Resources: A New Recycling Mode in China." *Resources, Conservation & Recycling* 134, 44-47.
- Wu, C.-H., 2015. "Strategic and Operational Decisions under Sales Competition and Collection Competition for End-of-use Products in Remanufacturing." *International Journal of Production Economics* 169, 11-20.
- Wu, X., Zhou, Y., 2017. "The Optimal Reverse Channel Choice under Supply Chain Competition." *European Journal of Operational Research* 259(1), 63-66.
- Yan, Y., Zhao, R., Liu, Z., 2018. "Strategic Introduction of the Marketplace Channel under Spillovers from Online to Offline Sales." *European Journal of Operational Research* 267(1), 65-77.
- Zuo, L., Wang, C., Sun, Q., 2020. "Sustaining WEEE Collection Business in China: The Case of Online to Offline (O2O) Development Strategies." *Waste Management* 101, 222-230.