

整備新幹線の並行在来線問題に対する 協力ゲーム論的考察

四辻裕文¹

¹正会員 神戸大学特命助教 先端融合研究環 (〒 657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1)
E-mail: yotsutsuji@people.kobe-u.ac.jp

整備新幹線に並行する地方第三セクター鉄道に係わる諸問題（並行在来線問題）に関して

Key Words : *Game in coalition form, Existing railway lines in parallel with Shinkansen lines, Separation of infrastructure and operation, Train fare*

1. はじめに

地方部の鉄道網において全幹法の整備 5 新幹線鉄道（整備新幹線）とそこを並行する形で運行する在来線鉄道（並行在来線）との関係に着目すると、並行在来線の維持にかかわる「並行在来線問題」というものがある。まず、この問題の背景を簡単に述べる。

整備新幹線は公共事業方式で建設されており、建設後に営業する JR 各社から国（独立行政法人）は使用料（線路貸付料）を得ている。すでに建設された整備新幹線の区間では、利用客の地域間移動時間が大幅に短縮されただけでなく、観光客誘致を含む様々な正の経済効果が沿線自治体にも波及している。建設が未着工の区間についても、早期の着工と着実な整備が求められている^{1),2),3)}。整備新幹線の着工には、並行在来線の経営分離について沿線自治体の同意が得られていることが十分条件の 1 つになっている。その際、JR 各社から経営分離される区間は、沿線の自治体と JR の同意を得て確定されることになっている⁴⁾。ところが、並行在来線の輸送密度は元来小さいうえに優等列車の需要が整備新幹線に転換されることになるので、経営分離された並行在来線の経営は厳しい環境下に置かれることが想定できる。経営分離された並行在来線は、第三セクター化で存続するか、バス路線に代替後に廃線となるか、が想定されている⁴⁾。地方部の第三セクター鉄道事業者は、厳しい経営環境下に置かれながらも利用客からサービス持続を求められており、沿線住民の支援を必要としている⁵⁾。人口減少や高齢化の課題を抱える地方部において、第三セクター化された並行在来線の事業者に出資する自治体は、限られた財源のもとで赤字補填をしている。また、JR 貨物が並行在来線を運行する際に並行在来線事業者を支払う使用料（アボ

イダブルコスト）の一部は、国（独立行政法人）が JR 貨物に交付する使用料（貨物調整金）で賄われている。このように、並行在来線の持続のため様々な経営支援が行われている。しかしながら、通学等の理由で定期的に利用せざるを得ない利用客に対して運行本数や運賃といったサービス水準が経営分離以前に比べると低下しているという並行在来線は少なくない。

並行在来線に係わる上記のような諸問題が「並行在来線問題」と呼ばれている。並行在来線問題は、整備新幹線着工を機に優等列車の需要が転換してしまうことと、在来線の経営者が JR から第三セクター鉄道事業者になること、から生じると考えられる。現存する並行在来線問題への取組みに加え、未着工の整備新幹線にかかわる並行在来線問題への対応は、喫緊の課題といえる。

整備新幹線の着工条件の 1 つである並行在来線経営分離に関して、現行では、次に示すような柔軟な形態が取られている⁶⁾。1 つめは「上下分離方式（上：第三セクター）」であり、青い森鉄道がその例である。この方式は、線路等・用地を保有する自治体（第三種事業者）に対し、車両のみを保有する第三セクター鉄道事業者（第二種事業者）が線路使用料を支払うものである。2 つめは「上下一体方式」であり、肥薩おれんじ鉄道などほとんどの並行在来線事業者がその例である。この方式は、線路等・用地・車両を保有する第三セクター鉄道事業者（第一種事業者）に対し、自治体が運営費の一部を補助するものである。3 つめは「上下分離方式（上：JR）」であり、着工済みの九州新幹線（西九州ルート）に並行する長崎本線の一部区間がその例である。この方式は、JR が車両を保有して第二種事業者となり、線路等・用地を保有する自治体（第三種事業者）に線路使用料を支払うものである。また、経営分離区間につい

ても、青森県内の青い森鉄道の例のように、第三セクター鉄道事業者が県境を跨がない場合もあれば、熊本県～鹿児島県の肥薩おれんじ鉄道や佐賀県～長崎県の九州新幹線（西九州ルート）並行在来線の例のように、第三セクター事業者が県境を跨ぐ場合もある。

本研究では、並行在来線に上記のような 3 つの形態が生じる要因として、整備新幹線への転換需要、整備新幹線との並行距離、という 2 つの要因に着目する。そして、いずれかの形態が生じるのを「プレイヤー間の提携」と捉える。ここで、並行在来線を県境を跨ぐ 2 つの区間に分類し、各々の区間を経営するプレイヤーを考える。そして、これらのプレイヤーと整備新幹線を経営するプレイヤーの 3 人ゲームを考える。本研究の目的は、2 つの要因がどのような条件であれば 3 つの形態のいずれかが生じるかについて、並行在来線から整備新幹線への転換需要に関するシュタッケルベルグ・ゲームとその後の 2 人の並行在来線プレイヤーと 1 人の整備新幹線プレイヤーの提携ゲームのコア成立条件を考察することである。

2. 分析モデル

(1) 設定

鉄道の線路網について、出発地の駅 A と目的地の駅 B を結ぶ線路は 2 つ在り、1 つは整備新幹線、もう 1 つは並行在来線とする。簡単のため、鉄道ダイヤは AB 間の往路のみを扱う。並行在来線は 2 つの区間に分割されており、出発地の駅 A から目的地の駅 B に至る途中に中間地の駅 C が在る。AC 間を一つの自治体が、CB 間をもう一つの自治体が管理する。AC 間と CB 間を経営する三セク鉄道は、各々の沿線の自治体から損失補填を受ける。AB 間の整備新幹線は JR が経営する。

本研究では、AC 間と CB 間の三セク鉄道を支援する自治体をプレイヤー 1 とプレイヤー 2 と呼び、AB 間を経営する JR をプレイヤー 3 と呼ぶ。すべてのプレイヤーから成る集合を $N = \{1, 2, 3\}$ とし、 $S \subseteq N$ 且つ $S \neq \phi$ を満たす部分集合 S を提携と呼ぶ。提携 S を構成するプレイヤーの集合 $\{S\}$ の社会的厚生を $v(S)$ で表し、それを特性関数と呼ぶ。以下、並行在来線問題に関する提携形ゲームを (N, v) と表現する。

提携形ゲーム (N, v) の利得ベクトル $\mathbf{x} = (x_i)_{i \in N}$ は個人合理性 $x_i \geq v(i)$ とパレート最適性 $\sum_{i \in N} x_i = N$ を満たすものとし、 x_i をプレイヤー i の配分と呼ぶ。提携 S を構成する任意のプレイヤー $i, j \in S$ の間で、配分 x_i, x_j は譲渡可能な利得であると仮定する。つまり本研究では、プレイヤー間で譲渡可能な利得を前提とした提携形ゲーム (N, v) を扱うものとする。

(2) ゲーム的状况の定義

並行在来線問題を扱うにあたり、提携の内容を下記のように設定する。

ただし、並行在来線は上下分離方式、整備新幹線は上下一体方式の経営を前提とする。現実の整備新幹線では営業する JR が国（独立行政法人）に使用料（線路貸付料）を支払っているのだが、ここではプレイヤーの数をむやみに増やすことはせず、整備新幹線は上下一体方式の経営だと仮定する。また、ここでいう上下分離方式において分離される上部・下部構造のうち、上部構造は旅客車両、下部構造は鉄道施設・用地を指す⁶⁾。

- 一人提携：プレイヤー 1 または 2 の場合は、並行在来線の下部構造を当該プレイヤー（自治体）が運営し、上部構造を三セク鉄道が運営する。その運賃は各々で独立に決定される。プレイヤー 3 の場合は、上下構造とも JR が運営する。
- 二人提携：プレイヤー 1 と 2 が提携する場合は、並行在来線の下部構造をプレイヤー 1 と 2 が各々運営する一方で、上部構造は一つの三セク鉄道が運行する。プレイヤー 3 と 1 あるいは 3 と 2 が提携する場合は、整備新幹線の上部・下部構造と並行在来線の上部構造をプレイヤー 3 が運営する一方で、並行在来線の下部構造をプレイヤー 1 あるいは 2 が運営する。並行在来線の運賃は、後ほど記す通り、様々な運賃体系の下で決定される。
- 三人提携（全体提携）：並行在来線の下部構造をプレイヤー 1 と 2 が各々運営する一方で、整備新幹線の上下構造と並行在来線の上部構造をプレイヤー 3 が運営する。並行在来線の運賃は、同様に、様々な運賃体系の下で決定される。

本研究では、譲渡可能な利得をもつプレイヤーの間で、拘束的な合意のもと、全体提携が形成されると考える。そのうえで、あらゆる提携 $S \subseteq N$ において提携合理性 $\sum_{i \in S} x_i \geq v(S)$ が満たされる配分の集合が存在するような運賃体系について考察する。

(3) トリップ需要の配分

整備新幹線の AB 間の線路長を l_3 、運行速度を \bar{s} 、運賃を ξ_3 とする。駅 A での利用者の待ち時間を τ_3 とする。整備新幹線の所要時間 t_3 は、次式を満たす。

$$t_3 = \frac{l_3}{\bar{s}} + \tau_3 \quad (1)$$

並行在来線の AB 間の運行速度を s とし、AC 間と CB 間の線路長を各々 l_1, l_2 、運賃を各々 ξ_1, ξ_2 とする。駅 A と駅 C での利用者の待ち時間の合計を τ_{12} とおく。このとき、並行在来線の AB 間の線路長 l_{12} 、所要時間 t_{12} 、運賃 ξ_{12} は、次式を満たす。

$$l_{12} = l_1 + l_2 \quad (2)$$

$$l_{12} = \frac{l_1}{s} + \frac{l_2}{s} + \tau_{12} \quad (3)$$

$$\xi_{12} = \xi_1 + \xi_2 \quad (4)$$

AB 間の線路網上のトリップ需要の配分について考える。利用者の総トリップ需要を d に固定し、利用者の時間価値を ω とおく。AB 間の整備新幹線と並行在来線の利用頻度を各々 d_3, d_{12} とする。利用者は、整備新幹線と並行在来線の一般化費用に関して完全情報を得ており、一般化費用が最小の線路を選ぶと仮定する。Wardrop の利用者均衡配分に従うと、次式が成り立つ。

$$\begin{cases} \xi_k + \omega t_k = \lambda & \text{if } d_k > 0 \\ \xi_k + \omega t_k \geq \lambda & \text{if } d_k = 0 \end{cases} \quad (5a)$$

$$d = \sum_k d_k \text{ for } k \in \{3, 12\} \quad (5b)$$

尚、本研究では、駅 C で並行在来線に乗降する利用者を考慮しない。並行在来線の利用者の利用頻度は AC 間と CB 間ともに d_{12} となる点に留意する。

(4) 利用者の需要関数

利用者は、所得 y と総活動時間 t の制約下で、利用頻度に関する効用の最大化を図る。利用者の効用 u は、ニューメレル財 z_k と鉄道利用頻度 d_k に関する準線形効用関数 $u(d_k, z_k) = z_k + \tilde{u}(d_k)$ ($k \in \{3, 12\}$) で表されると仮定する。このとき、利用者の需要関数は、以下の最適化問題から導かれる。ただし、所要時間 t_k 、活動時間 t_a は所与とし、 α_k, β_k は定数とおく。

$$\max u(d_k, z_k) = z_k + \alpha_k d_k - \frac{1}{2} \beta_k d_k^2 \quad (6)$$

$$\text{subject to } y + \omega t_a = \xi_k d_k + z_k \quad (7a)$$

$$t = t_k d_k + t_a \quad (7b)$$

制約条件をまとめると $y + \omega t = (\xi_k + \omega t_k) d_k + z_k$ となるので、1 階条件より、次の逆需要関数が得られる。

$$\xi_3 + \omega \cdot \left(\frac{l_3}{s} + \tau_3 \right) = \alpha_3 - \beta_3 d_3 \quad (8a)$$

$$\left(\xi_1 + \xi_2 \right) + \omega \cdot \left(\frac{l_1}{s} + \frac{l_2}{s} + \tau_{12} \right) = \alpha_{12} - \beta_{12} d_{12} \quad (8b)$$

したがって、利用頻度当たりの一般化費用 $\xi_k + \omega t_k$ は、利用頻度 d_k の単調減少関数となる。

ここで、並行在来線の AC 間と CB 間で需要構造が異なる場合を考える。AB 間の $\alpha_{12}, \beta_{12}, \tau_{12}$ に対して、AC 間では $\alpha_1, \beta_1, \tau_1$ 、CB 間では $\alpha_2, \beta_2, \tau_2$ を対応させる。このとき、 $\alpha_{12}, \beta_{12}, \tau_{12}$ は、次式を満たす。

$$\alpha_{12} = \alpha_1 + \alpha_2 \quad (9)$$

$$\beta_{12} = \beta_1 + \beta_2 \quad (10)$$

$$\tau_{12} = \tau_1 + \tau_2 \quad (11)$$

このとき、式 (8b) に関して、次式が成り立つ。

$$\xi_1 + \omega \cdot \left(\frac{l_1}{s} + \tau_1 \right) = \alpha_1 - \beta_1 d_{12} \quad (12a)$$

$$\xi_2 + \omega \cdot \left(\frac{l_2}{s} + \tau_2 \right) = \alpha_2 - \beta_2 d_{12} \quad (12b)$$

本研究では、並行在来線問題を扱うにあたり、需要の価格弾力性に関して、整備新幹線の利用者は弾力的、並行在来線の利用者は非弾力的であると仮定する。そして、 α_k, β_k に対して次の条件を仮定する。

$$\alpha_3 \leq \alpha_{12}, 0 < \beta_3 < 1, \beta_{12} > 1 \quad (13)$$

(5) 消費者余剰

利用者の需要関数に基づき、プレイヤーの提携ごとに消費者余剰を求める。式 (8a) (12a) (12b) の中で $\omega, s, \tilde{s}, l_1, l_2, l_3, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ を定数とおき、ある運賃体系の下で ξ_1, ξ_2, ξ_3 を与える。すると、総トリップ需要 d が式 (5) に基づいて d_3 と d_{12} とに配分されると同時に、 τ_1, τ_2, τ_3 が求まる。

今、提携 S における消費者余剰 ϕ を $\phi_{\{S\}}$ で表すと、 $\phi_{\{S\}}$ は d_{12}, d_3 の関数として次式で表される。

$$\phi_{\{N\}}(d_{12}, d_3) = \frac{1}{2} \beta_3 d_3^2 + \frac{1}{2} \beta_{12} d_{12}^2 \quad (14a)$$

$$\phi_{\{31\}}(d_{12}, d_3) = \frac{1}{2} \beta_3 d_3^2 + \frac{1}{2} \beta_1 d_{12}^2 \quad (14b)$$

$$\phi_{\{32\}}(d_{12}, d_3) = \frac{1}{2} \beta_3 d_3^2 + \frac{1}{2} \beta_2 d_{12}^2 \quad (14c)$$

$$\phi_{\{12\}}(d_{12}) = \frac{1}{2} \beta_{12} d_{12}^2 \quad (14d)$$

$$\phi_{\{3\}}(d_3) = \frac{1}{2} \beta_3 d_3^2 \quad (14e)$$

$$\phi_{\{1\}}(d_{12}) = \frac{1}{2} \beta_1 d_{12}^2 \quad (14f)$$

$$\phi_{\{2\}}(d_{12}) = \frac{1}{2} \beta_2 d_{12}^2 \quad (14g)$$

(6) プレイヤーの費用関数

平均費用逓減下でのプレイヤーの費用構造には、提携によって範囲の経済性が反映されると仮定する。この費用構造では、固定費用は、線路長に関して単調増加すると仮定する。また、可変費用は、線路長当たりの鉄道利用頻度に関して単調増加して、且つその限界費用が逓減すると仮定する。

今、提携 S における費用構造 c を $c_{\{S\}}$ で表す。本研究では、全体提携における費用構造 $c_{\{N\}}$ が費用関数 $c(d_{12}, d_{12}, d_3, l_1, l_2, l_3)$ で表されると仮定する。そのうえで、提携ごとに費用関数を次式で定義する。ただし、 s_1, s_2, s_3 は車両容量を示すパラメータである。

$$\begin{aligned} c_{\{N\}} &\equiv c(d_{12}, d_{12}, d_3, l_1, l_2, l_3) \\ &= c_F(l_1 + l_2 + l_3) \\ &+ c_V \ln \left(1 + \frac{d_{12}}{s_1} l_1 + \frac{d_{12}}{s_2} l_2 + \frac{d_3}{s_3} l_3 \right) \end{aligned} \quad (15a)$$

$$\begin{aligned} c_{\{31\}} &\equiv c(d_{12}, 0, d_3, l_1, 0, l_3) \\ &= c_F(l_1 + l_3) + c_V \ln \left(1 + \frac{d_{12}}{s_1} l_1 + \frac{d_3}{s_3} l_3 \right) \end{aligned} \quad (15b)$$

$$\begin{aligned} c_{\{32\}} &\equiv c(0, d_{12}, d_3, 0, l_2, l_3) \\ &= c_F(l_2+l_3)+c_V \ln\left(1+\frac{d_{12}}{s_2}l_2+\frac{d_3}{s_3}l_3\right) \quad (15c) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\{12\}} &\equiv c(d_{12}, d_{12}, 0, l_1, l_2, 0) \\ &= c_F(l_1+l_2)+c_V \ln\left(1+\frac{d_{12}}{s_1}l_1+\frac{d_{12}}{s_2}l_2\right) \quad (15d) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\{3\}} &\equiv c(0, 0, d_3, 0, 0, l_3) \\ &= c_F l_3 + c_V \ln\left(1+\frac{d_3}{s_3}l_3\right) \quad (15e) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\{1\}} &\equiv c(d_{12}, 0, 0, l_1, 0, 0) \\ &= c_F l_1 + c_V \ln\left(1+\frac{d_{12}}{s_1}l_1\right) \quad (15f) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\{2\}} &\equiv c(0, d_{12}, 0, 0, l_2, 0) \\ &= c_F l_2 + c_V \ln\left(1+\frac{d_{12}}{s_2}l_2\right) \quad (15g) \end{aligned}$$

式 (15a) ~ (15g) は、提携によって費用構造 c に範囲の経済性が反映されることを示す (付録 I) . 一人提携の式 (15e) ~ (15g) の平均費用 AC と限界費用 MC を $AC_{\{i\}} \equiv c_{\{i\}}/d_i$, $MC_{\{i\}} \equiv \partial c_{\{i\}}/\partial d_i$ で表すと, $dAC_{\{i\}}/dd_i < 0$, $dMC_{\{i\}}/dd_i < 0$ を満たしている.

(7) 線路使用料と損失補填

プレイヤー 1 及び 2 は、固定費用 $c_F l_1$ 及び $c_F l_2$ を負担し、三セク鉄道あるいは JR から線路使用料を徴収する一方で、三セク鉄道に損失補填を行うものとする.

線路使用料は、可変費用の限界費用で表されると仮定する. 提携 S における線路使用料 κ を $\kappa_{\{S\}}$ で表すと, $\kappa_{\{S\}} \equiv MC_{\{S\}}$ となる. したがって、提携を通じてプレイヤー 1 及び 2 が三セク鉄道から徴収する線路使用料は次式で表される.

$$\begin{aligned} \kappa_{\{12\}} &\equiv \frac{\partial c(d_{12}, d_{12}, 0, l_1, l_2, 0)}{\partial d_{12}} d_{12} \\ &= \frac{c_V d_{12}(s_2 l_1 + s_1 l_2)}{s_1 s_2 + d_{12}(s_2 l_1 + s_1 l_2)} \quad (16a) \end{aligned}$$

$$\kappa_{\{1\}} \equiv \frac{\partial c(d_{12}, 0, 0, l_1, 0, 0)}{\partial d_{12}} d_{12} = \frac{c_V d_{12} l_1}{s_1 + d_{12} l_1} \quad (16b)$$

$$\kappa_{\{2\}} \equiv \frac{\partial c(0, d_{12}, 0, 0, l_2, 0)}{\partial d_{12}} d_{12} = \frac{c_V d_{12} l_2}{s_2 + d_{12} l_2} \quad (16c)$$

また、提携 S における補填額 π を $\pi_{\{S\}}$ で表す. 補填率を δ とすると、プレイヤー 1 及び 2 が三セク鉄道に補填する額は次式で表される.

$$\pi_{\{12\}} = \delta \cdot \left\{ \xi_{12} d_{12} - c_V \ln\left(1 + \frac{d_{12}}{s_1} l_1 + \frac{d_{12}}{s_2} l_2\right) \right\} \quad (17a)$$

$$\pi_{\{1\}} = \delta \cdot \left\{ \xi_1 d_{12} - c_V \ln\left(1 + \frac{d_{12}}{s_1} l_1\right) \right\} \quad (17b)$$

$$\pi_{\{2\}} = \delta \cdot \left\{ \xi_2 d_{12} - c_V \ln\left(1 + \frac{d_{12}}{s_2} l_2\right) \right\} \quad (17c)$$

(8) 生産者余剰

プレイヤーの費用関数に基づき、提携ごとに生産者余剰を求める. プレイヤー 1 及び 2 が JR と提携する場

合、互いの線路使用料が相殺されて、且つプレイヤー 1 及び 2 は JR に損失補填を行わない点に留意する.

今、提携 S における生産者余剰 ψ を $\psi_{\{S\}}$ で表すと、 $\psi_{\{S\}}$ は $\xi_1, \xi_2, \xi_3, d_{12}, d_3$ の関数として次式で表される.

ただし、上部構造が三セク鉄道の場合と JR の場合で運賃体系が異なることから、便宜上、前者の場合の運賃を ξ_i° 、後者の場合の運賃を ξ_i と表記する.

$$\psi_{\{N\}}(\xi_{12}^\circ, \xi_3, d_{12}, d_3) = \xi_3 d_3 + \xi_{12}^\circ d_{12} - c_{\{N\}} \quad (18a)$$

$$\psi_{\{31\}}(\xi_1^\circ, \xi_3, d_{12}, d_3) = \xi_3 d_3 + \xi_1^\circ d_{12} - c_{\{31\}} \quad (18b)$$

$$\psi_{\{32\}}(\xi_2^\circ, \xi_3, d_{12}, d_3) = \xi_3 d_3 + \xi_2^\circ d_{12} - c_{\{32\}} \quad (18c)$$

$$\psi_{\{12\}}(\xi_1^\circ, \xi_2^\circ, d_{12}) \quad (18d)$$

$$= \xi_1^\circ d_{12} + \xi_2^\circ d_{12} - c_{\{12\}} + \kappa_{\{12\}} - \pi_{\{12\}} \quad (18e)$$

$$\psi_{\{3\}}(\xi_3, d_3) = \xi_3 d_3 - c_{\{3\}} \quad (18f)$$

$$\psi_{\{1\}}(\xi_1^\circ, d_{12}) = \xi_1^\circ d_{12} - c_{\{1\}} + \kappa_{\{1\}} - \pi_{\{1\}} \quad (18g)$$

$$\psi_{\{2\}}(\xi_2^\circ, d_{12}) = \xi_2^\circ d_{12} - c_{\{2\}} + \kappa_{\{2\}} - \pi_{\{2\}} \quad (18h)$$

(9) 特性関数とコア成立条件

特性関数は、以下のように整理される.

$$v(N) = \phi_{\{N\}}(d_{12}, d_3) + \psi_{\{N\}}(\xi_{12}^\circ, \xi_3, d_{12}, d_3) \quad (19a)$$

$$v(31) = \phi_{\{31\}}(d_{12}, d_3) + \psi_{\{31\}}(\xi_1^\circ, \xi_3, d_{12}, d_3) \quad (19b)$$

$$v(32) = \phi_{\{32\}}(d_{12}, d_3) + \psi_{\{32\}}(\xi_2^\circ, \xi_3, d_{12}, d_3) \quad (19c)$$

$$v(12) = \phi_{\{12\}}(d_{12}) + \psi_{\{12\}}(\xi_1^\circ, \xi_2^\circ, d_{12}) \quad (19d)$$

$$v(3) = \phi_{\{3\}}(d_3) + \psi_{\{3\}}(\xi_3, d_3) \quad (19e)$$

$$v(1) = \phi_{\{1\}}(d_{12}) + \psi_{\{1\}}(\xi_1^\circ, d_{12}) \quad (19f)$$

$$v(2) = \phi_{\{2\}}(d_{12}) + \psi_{\{2\}}(\xi_2^\circ, d_{12}) \quad (19g)$$

コアが非空となる必要十分条件は、次式である ?).

$$v(1) + v(32) \leq v(N) \quad (20)$$

$$v(2) + v(31) \leq v(N) \quad (21)$$

$$v(3) + v(12) \leq v(N) \quad (22)$$

$$v(1) + v(2) + v(3) \leq v(N) \quad (23)$$

$$v(12) + v(31) + v(32) \leq 2v(N) \quad (24)$$

式 (19a) ~ (19d) より、式 (20) ~ (24) が成立するには、以下の条件を満たす必要がある (付録 II) .

$$\begin{aligned} &(\xi_1 - \xi_1^\circ) d_{12} + c_V \ln \frac{\left(1 + \frac{d_{12} l_1}{s_1}\right) \left(1 + \frac{d_{12} l_2}{s_2} + \frac{d_3 l_3}{s_3}\right)}{\left(1 + \frac{d_{12}}{s_1} l_1 + \frac{d_{12}}{s_2} l_2 + \frac{d_3}{s_3} l_3\right)^2} \\ &\geq \frac{c_V d_{12} l_1}{s_1 + d_{12} l_1} - \delta \left\{ \xi_1^\circ d_{12} - c_V \ln\left(1 + \frac{d_{12}}{s_1} l_1\right) \right\} \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} &(\xi_2 - \xi_2^\circ) d_{12} + c_V \ln \frac{\left(1 + \frac{d_{12} l_2}{s_2}\right) \left(1 + \frac{d_{12} l_1}{s_1} + \frac{d_3 l_3}{s_3}\right)}{\left(1 + \frac{d_{12}}{s_1} l_1 + \frac{d_{12}}{s_2} l_2 + \frac{d_3}{s_3} l_3\right)^2} \\ &\geq \frac{c_V d_{12} l_2}{s_2 + d_{12} l_2} - \delta \left\{ \xi_2^\circ d_{12} - c_V \ln\left(1 + \frac{d_{12}}{s_2} l_2\right) \right\} \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} &(\xi_{12} - \xi_{12}^\circ) d_{12} + c_V \ln \frac{\left(1 + \frac{d_3 l_3}{s_3}\right) \left(1 + \frac{d_{12} l_1}{s_1} + \frac{d_{12} l_2}{s_2}\right)}{\left(1 + \frac{d_{12}}{s_1} l_1 + \frac{d_{12}}{s_2} l_2 + \frac{d_3}{s_3} l_3\right)^2} \\ &\geq \frac{c_V d_{12}(s_2 l_1 + s_1 l_2)}{s_1 s_2 + d_{12}(s_2 l_1 + s_1 l_2)} \\ &\quad - \delta \left\{ \xi_{12}^\circ d_{12} - c_V \ln\left(1 + \frac{d_{12}}{s_1} l_1 + \frac{d_{12}}{s_2} l_2\right) \right\} \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} & (\xi_{12} - \xi_{12}^{\circ})d_{12} + c_V \ln \frac{(1 + \frac{d_{12}l_1}{s_1})(1 + \frac{d_{12}l_2}{s_2})(1 + \frac{d_3l_3}{s_3})}{(1 + \frac{d_{12}l_1}{s_1} + \frac{d_{12}l_2}{s_2} + \frac{d_3l_3}{s_3})^2} \\ \geq & \frac{c_V(s_2l_1 + s_1l_2 + 2d_{12}l_1l_2)}{(s_1 + d_{12}l_1)(s_2 + d_{12}l_2)} \\ & - \delta \left\{ \xi_{12}^{\circ}d_{12} - c_V \ln \left(1 + \frac{d_{12}l_1}{s_1} \right) \left(1 + \frac{d_{12}l_2}{s_2} \right) \right\} \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} & (\xi_{12}^{\circ} - \xi_1^{\circ} - \xi_2^{\circ})d_{12} \\ & + c_V \ln \frac{(1 + \frac{d_{12}l_1}{s_1} + \frac{d_{12}l_2}{s_2})(1 + \frac{d_{12}l_1}{s_1} + \frac{d_3l_3}{s_3})(1 + \frac{d_{12}l_2}{s_2} + \frac{d_3l_3}{s_3})}{(1 + \frac{d_{12}l_1}{s_1} + \frac{d_{12}l_2}{s_2} + \frac{d_3l_3}{s_3})^2} \\ \geq & \frac{c_V d_{12}(s_2l_1 + s_1l_2)}{s_1s_2 + d_{12}(s_2l_1 + s_1l_2)} \\ & - \delta \left\{ \xi_{12}^{\circ}d_{12} - c_V \ln \left(1 + \frac{d_{12}l_1}{s_1} + \frac{d_{12}l_2}{s_2} \right) \right\} \end{aligned} \quad (29)$$

(10) 運賃体系

a) 限界費用価格形成

$$\xi_{12}^{\circ} = \frac{c_V(s_2l_1 + s_1l_2)}{s_1s_2 + d_{12}(s_2l_1 + s_1l_2)} \quad (30a)$$

$$\xi_1^{\circ} = \frac{c_V l_1}{s_1 + d_{12}l_1} \quad (30b)$$

$$\xi_2^{\circ} = \frac{c_V l_2}{s_2 + d_{12}l_2} \quad (30c)$$

b) 平均費用価格形成

$$\xi_3 = \frac{c_F l_3 + c_V \ln \left(1 + \frac{d_3l_3}{s_3} \right)}{d_3} \quad (31a)$$

付録 I 「範囲の経済性」の確認

平均費用遞減下での費用構造 c が範囲の経済性を満たす点を確認する。全体提携の費用関数 $c_{\{N\}}$ は式 (15a) であるが、以下では、便宜上、二人提携で確認する。全体提携でも同様に示せる。煩雑さを避けて、式 (15b) ~ (15d) の $c_{\{ij\}}$ を $\tilde{c}(d_i, d_j, l_i, l_j)$ と書き改める。

まず、 $\tilde{c}(d_i, 0, l_i, 0) = c_F l_i + c_V \ln(1 + d_i s_i / l_i)$ に対して、平均費用 $AC = \tilde{c}/d_i$ と限界費用 $MC = \partial \tilde{c} / \partial d_i$ から定義した費用弾力性 $\epsilon = AC/MC$ は、次式を満たす。

$$\epsilon = \frac{s_i + d_i l_i}{d_i l_i} \left\{ \frac{c_F}{c_V} l_i + \ln \left(1 + \frac{d_i}{s_i} l_i \right) \right\} > 1 \quad (c_F > c_V)$$

したがって、 $d(MC)/dd_i < 0$ 、 $d^2(MC)/dd_i^2 > 0$ であり、 $\epsilon > 1$ を満たすので、規模の経済性が成り立つ。

さらに、 $\tilde{c}(d_i, d_j, l_i, l_j)$ と $\tilde{c}(d_i, 0, l_i, 0) + \tilde{c}(0, d_j, 0, l_j)$ を比較すると、次式を得る。

$$\begin{aligned} & \tilde{c}(d_i, 0, l_i, 0) + \tilde{c}(0, d_j, 0, l_j) - \tilde{c}(d_i, d_j, l_i, l_j) \\ & = c_V \ln \frac{1 + \frac{d_i}{s_i} l_i + \frac{d_j}{s_j} l_j + \frac{d_i d_j}{s_i s_j} l_i l_j}{1 + \frac{d_i}{s_i} l_i + \frac{d_j}{s_j} l_j} > 0 \end{aligned}$$

したがって、範囲の経済性が成り立つ。

付録 II 「コアの成立条件」の導出

式 (24) が成立するための条件式を導出する。まず、 $v(12) + v(31) + v(32)$ 及び $2v(N)$ を展開する。

$$\begin{aligned} & v(12) + v(31) + v(32) \\ & = \beta_3 d_3^2 + \beta_{12} d_{12}^2 + 2\xi_3 d_3 + (\xi_{12}^{\circ} + \xi_1^{\circ} + \xi_2^{\circ})d_{12} - 2c_F(l_{12} + l_3) \\ & \quad - c_V \ln \left(1 + \frac{d_{12}l_1}{s_1} + \frac{d_{12}l_2}{s_2} \right) \left(1 + \frac{d_{12}l_1}{s_1} + \frac{d_3l_3}{s_3} \right) \left(1 + \frac{d_{12}l_2}{s_2} + \frac{d_3l_3}{s_3} \right) \\ & \quad + \frac{c_V(s_2l_1 + s_1l_2)}{s_1s_2 + d_{12}(s_2l_1 + s_1l_2)} - \delta \left\{ \xi_{12}^{\circ}d_{12} - c_V \ln \left(1 + \frac{d_{12}l_1}{s_1} + \frac{d_{12}l_2}{s_2} \right) \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 2v(N) \\ & = \beta_3 d_3^2 + \beta_{12} d_{12}^2 + 2\xi_3 d_3 + 2\xi_{12}^{\circ} d_{12} - 2c_F(l_{12} + l_3) \\ & \quad - c_V \ln \left(1 + \frac{d_{12}l_1}{s_1} + \frac{d_{12}l_2}{s_2} + \frac{d_3l_3}{s_3} \right)^2 \end{aligned}$$

ここで、 $x_1 = \frac{d_{12}l_1}{s_1}$ 、 $x_2 = \frac{d_{12}l_2}{s_2}$ 、 $x_3 = \frac{d_3l_3}{s_3}$ とおくと、

$$\begin{aligned} & (1 + x_1 + x_2)(1 + x_1 + x_3)(1 + x_2 + x_3) \\ & = 1 + x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + 2(x_1 + x_2 + x_3) \\ & \quad + 3(x_1x_2 + x_2x_3 + x_3x_1) \\ & \quad + x_1x_2(x_1 + x_2) + x_2x_3(x_2 + x_3) + x_3x_1(x_3 + x_1) \\ & \quad + 2x_1x_2x_3 \end{aligned}$$

及び、

$$\begin{aligned} & (1 + x_1 + x_2 + x_3)^2 \\ & = 1 + x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + 2(x_1 + x_2 + x_3) \\ & \quad + 2(x_1x_2 + x_2x_3 + x_3x_1) \end{aligned}$$

だから、

$$(1 + x_1 + x_2)(1 + x_1 + x_3)(1 + x_2 + x_3) > (1 + x_1 + x_2 + x_3)^2$$

が成り立つことが分かる。

したがって、以下に示す条件、

$$\begin{aligned} & (\xi_{12}^{\circ} - \xi_1^{\circ} - \xi_2^{\circ})d_{12} \\ & + c_V \ln \frac{(1 + \frac{d_{12}l_1}{s_1} + \frac{d_{12}l_2}{s_2})(1 + \frac{d_{12}l_1}{s_1} + \frac{d_3l_3}{s_3})(1 + \frac{d_{12}l_2}{s_2} + \frac{d_3l_3}{s_3})}{(1 + \frac{d_{12}l_1}{s_1} + \frac{d_{12}l_2}{s_2} + \frac{d_3l_3}{s_3})^2} \\ & \geq c_V \frac{l_{12}}{l_1l_2 + l_{12}d_{12}} d_{12} - \delta \left\{ \xi_{12}^{\circ}d_{12} - c_V \ln \left(1 + \frac{d_{12}l_1}{s_1} + \frac{d_{12}l_2}{s_2} \right) \right\} \end{aligned}$$

が成り立つならば、

$$v(12) + v(31) + v(32) \leq 2v(N)$$

が成り立つので、コアは非空となる。

参考文献

- 1) 廣瀬亮太：整備新幹線未着工区間の新規着工に向けた動き - 財源問題を中心に -、立法と調査、No.330, pp.87-93, 2012.
- 2) 石井昌平：整備新幹線 新規着工 3 区間の開業時期の前倒しについて、運輸政策研究, Vol.18, No.1, pp.40-43, 2015.
- 3) 村田茂樹：北海道新幹線（新青森・新函館北斗間）の開業と整備新幹線をめぐる動向、運輸政策研究, Vol.19, No.2, pp.49-51, 2016.
- 4) 真子和也：並行在来線の現状と課題、調査と情報, No.851, pp.1-13, 2015.
- 5) 末原純：第 3 セクター鉄道の実況と将来の方向性に関する検討、運輸政策研究, Vol.9, No.1, pp.35-44, 2006.
- 6) 岸谷克己：地方鉄道の維持と再生に向けた取り組み、*Railway Research Review*, Vol.10, pp.10-13, 2007.
- 7) Okabe, M.: New passenger railway fares. *Japan Railway & Transport Review*, Vol.37, pp.4-15, 2004.

- 8) 柳川隆, 播磨谷浩三, 岡村薫: 並行在来線鉄道会社の効率性の計測 - 距離関数を用いた確率的フロンティアモデルの適用, 公益事業研究, Vol.62, No.1, pp.55-66, 2010.
- 9) 大井尚司: 第三セクター地方鉄道の費用構造に関する計量分析, 交通学研究, Vol.50, pp.99-108, 2006.
- 10) 谷本圭志, 喜多秀行: 広域バス路線の補助金負担方式に関するゲーム論的考察, 土木学会論文集, No.751/IV-62, pp.83-95, 2004.
- 11) 竹内健蔵: ラムゼイ運賃形成から見た鉄道相互乗り入れ運賃の分析, 運輸政策研究, Vol.13, No.3, pp.15-23, 2010.
- 12) Matsushima, N., Mizutani, F.: How does market size affect vertical structure when considering vertical coordination?: Application to the railway industry, *Pacific Economic Review*, Vol.19, No.5, pp.657-676, 2014.
- 13) Ni, D., Li, K. W., Tang, X.: Production costs, scope economics, and multi-client outsourcing under quantity competition, *Int. J. Production Economics*, Vol.121, pp.130-140, 2009.
- 14) Lozano, S., Moreno, P., Adenso-Díaz, B., Algaba, E. : Cooperative game theory approach to allocating benefits of horizontal cooperation, *European Journal of Operational Research*, No.229, pp.444-452, 2013.

(?????.???.?? 受付)