

(財)日本建設情報総合センター研究助成事業

公共敷設光ファイバーケーブルを利用した地域 IT 計画とその利用方法

報告書

平成 15 年 9 月

1. はじめに

1-1 本研究の背景

現在、国の様々な省庁で、マルチメディア社会・高度情報化社会構築のための政策が実施されている。特に国土交通省においては高度情報通信社会を構築するための取り組みとして、ITS および全国的な情報ハイウェイの整備を重点的な政策と位置付けている。ITS については、多様な ITS のサービスを統合的に支える社会インフラ、ITS の共通基盤(プラットフォーム)としての次世代道路(スマートウェイ)の実現に向けて、基準類の整備やシステムの研究開発を行っている。それらの整備・研究開発を含む関連事業費は 2001 年で 1122 億円、2002 年は 1400 億円である。一方、高度情報通信社会構築のための主な事業は、道路空間・河川空間・下水道空間を活用しての光ファイバ網の整備が中心である¹⁾。光ファイバ網は 2010 年までに全国で約 30 万 km 整備することを目標としている。具体的には、その約 50% は、その收容空間である国道に設置した情報 BOX や道路管理用光ファイバの整備である。また残りの 50% は、河川の災害情報や下水道等共同溝による整備である。ちなみに、それらの要する事業費は、2000 年で 6350 億円、2001 年で 6462 億円投じられている。

また、それに伴い、地方自治体もそれぞれの地位近トラネットの整備を進めている。その端を発したのは、岡山県である。岡山情報ハイウェイは、県内全域を 8 の字型に結んだ高速大容量の光ファイバで基幹回線は県自ら敷設し、利用者の接続点として、市内通話区域でアクセスできる位置に県内 11 ヶ所を配置した。総延長 450km、回線速度 155~622Mbps で運用している。1998 年 4 月に整備着工し、平成 1999 年 4 月から本格的に供用が開始されている。これ以降、各県でそれぞれの県全域をつなぐ光ファイバ網が次々と構築され、また計画されている。広島県、福岡県、兵庫県、島根県等がその例である。

これらの整備施策の特徴を考えると、岡山県等にみられる第 1 期は、自治体で自前の整備を中心として進められたものであり、福岡県等第 2 期では、民間通信事業者からの回線借り上げによる整備、また最近の島根県等にみられる整備は、第 3 期といえ、アクセス系補助とユーザ育成施策中心のものとなっている。

そこには、国主体で整備したネットワークを利用し、それらに広範なユーザ参加をめざし、地域情報イントラネットを構築しようとする考え方が認められる。都市部においては、ユーザの獲得や光ファイバ網の收容空間が十分であろう。しかし需要の集中する都市部と異なり、地方都市や過疎地域では

収益性が低く、FTTH (Fiber To The Home) の高い整備コストを民間企業が請け負うのは困難であると考えられる。ある地方自治体全域で、情報イントラネットを構築する場合、そのような地方における整備の可能性がクリティカルな考え方となる。また、より多くの人々が情報を快適に利用できるような高速通信ケーブルによる情報ネットワーク整備は、むしろ地方都市において今後ますます重要になってくると考えられる。

ここでは、地域特性に対応した地域 IT 整備の考え方、すなわち地域の社会経済活動に見合ったケーブルテレビ会社やサイバーモール運営事業者などの参加により、地域ニーズに合った利用システムの導入を考えている。また一方で地方自治体の財政状況の悪化により、大規模事業を自治体単独で行うことは容易ではない状況にある。そこで、民間の資金やノウハウを有効に利用し、自治体などの自治体と民間事業者が適切な協力関係を持つ、事業スキームが必要になると考える。これらの状況を考慮した地域 IT システムの導入可能性を検討する。

ここで、具体的な例として、十勝川水系地域を考える。この地域では公共事業として河川管理用光ケーブルの整備が行われており、また国道における道路情報ボックス内にケーブル収容管の埋設が行われている。しかも、農業を中心とする産業形態を有し、情報化の考え方からは、地方都市地域における地域 IT 導入の形となる。このような地域において、情報インフラを有効利用し、自治体と民間事業者が共同で資金を負担すれば、十勝地域のような人口が集中していない地域においても高度な情報システムをもったネットワークの形成が可能であると考えられる。

1-2 本研究の目的

本研究の目的は、前述したように農業を中心とする地域において光ファイバを用いた IT システム整備事業を想定し、その可能性を検証することにある。すなわち、このような地域では、ある事業者が単独で地域 IT を整備するというのではなく、多数のエージェント（意思決定者）がパートナーシップを構築し、その計画を実現する方法を考えていくものである。具体的には、地域 IT システムを構築する複数のエージェント、この場合、自治体と民間が共同の事業者を作り、それらの協調、協力でマルチエージェントシステムにより、適正な整備コストを分担方法と、便益のシェアの方法を明らかにすることである。そのためには、まずはじめに事業スキームを想定し、参加する事業者と自治体について、コスト分担量を変数とした効用関数を作成する。そして各主体の効用関数の積を全体の効用とした時の最適解を求める。得られたコスト分担量により各主体の収益性を評価し、適切なコスト分担が行われるか

を評価する。それらの手順を図1の本研究のフローに示す。

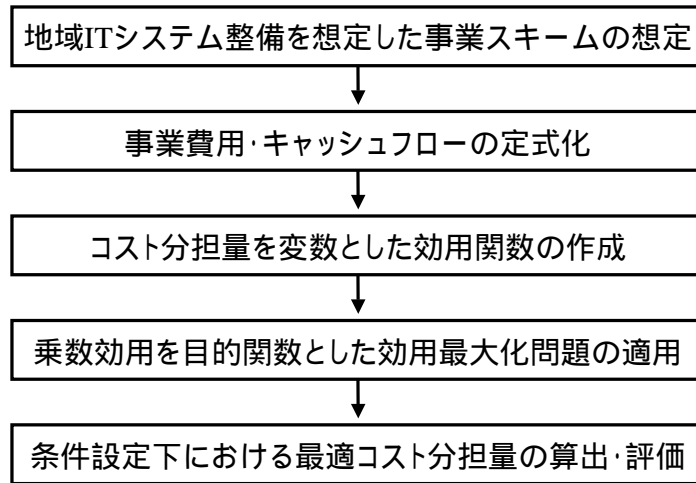


図1 本研究のフロー

2. 地域 IT システム 整備の 想定

2-1 事業内容の 想定

対象とする事業の概要を図2に示す。地域 IT システム 整備とは、光ファイバにより下記(1)～(3)の敷設を行い、地域に高速通信網を整備することと想定する。この整備により、公共機関における情報の共有化や、地域における加入者が高速インターネット回線を利用できることにより、高度な行政情報等各種情報サービスの提供が行われることが想定される。

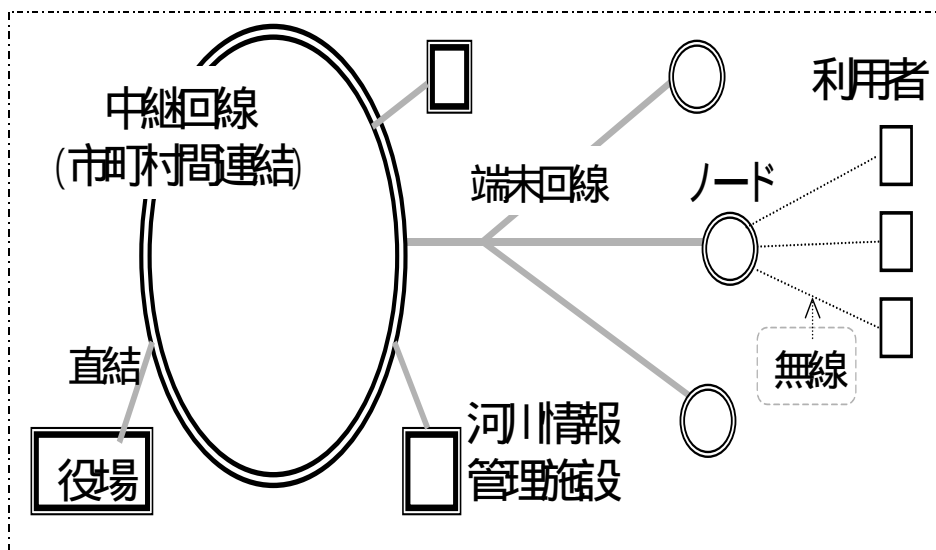


図2 地域 IT システム 整備イメージ

- (1) 大容量の情報量の伝達が可能な中継回線により市町村間を連結する。
- (2) 自治体や情報管理施設などの関連する公的施設は直接ケーブルを引き込み、直結する。
- (3) 地域に網目状に設置したノードまで端末回線の敷設を行う

2-2 対象地域の選定

十勝管内の河川管理用光ファイバーを、市町村間を結ぶ中継回線として利用することにより、人口の集中していない十勝地域における地域 IT システム整備の事業化において有利になると考えられる。よって河川管理用光ファイバーから役場や市街地が近距離にある市町村の市街地区域を対象地域とする。対象地域の概要を表 1 に示す。なお帯広市においては CATV 局により光ケーブル網整備がされているため、自治体機関等の連結整備のみ行うと想定する。表 1 に示すように対象世帯数は 11 市町村の全世帯数に対し約半数を占めている。

表1 対象地域の概要

(対象地域:平成13年度1月調査, 11町村全体:平成12年3月調査)

	面積	人口	世帯数
対象地域	約33km ²	約79800人	約26600世帯
11町村全体	5368km ²	142,466人	53211世帯
対象市町村	音更町	清水町	新得町
本別町	幕別町	池田町	浦幌町
中札内村	芽室町	豊頃町	士幌町

2-3 想定される事業費用の算定

想定される事業においては、光ファイバケーブルの敷設のほかに、端末回線から利用者住居までの中継点となるノード（想定事業においては無線ノード機）の設置や RT、ネットワークセンタなど施設の建設が必要となる。よって想定事業における初期投資費用は式(1)により算定される。また毎年の維持管理費を式(2)、減価償却費を式(3)により算定すると、現在価値での事業期間通しての総事業費が式(4)により算出できる。

$$K = J_1L_1 + J_2L_2 + J_3L_3 + m_1N + m_2R + m_3S \quad (1)$$

$$H_k = \lambda K \quad (2)$$

$$G_k = \frac{J_1L_1 + J_2L_2 + J_3L_3}{t_1} + \frac{m_1N}{t_2} + \frac{m_2R + m_3S}{t_3} \quad (3)$$

$$V = \sum_{k=1}^n \frac{H_k}{(1+r)^k} + \sum_{k=1}^n \frac{G_k}{(1+r)^k} + \sum_{k=1}^n \frac{j_{1k}l_{1k} + j_{2k}l_{2k}}{(1+r)^k}$$

$$= \sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+r)^k} \left(\frac{\lambda(J_1L_1 + J_2L_2 + J_3L_3 + J_3L_3 + m_1N + m_2R + m_3S)}{J_1L_1 + J_2L_2 + J_3L_3 + \frac{m_1N}{t_2} + \frac{m_2R + m_3S}{t_3} + j_{1k}l_{1k} + j_{2k}l_{2k}} \right) \quad (4)$$

K: 建設費

J1: 中継回線整備単価(材料費+工事費)

L1: 中継回線整備総距離

J2: 端末回線整備単価(材料費+工事費)

L2: 端末回線整備総距離

J3: 役所等公共機関への直結回線整備単価
(材料費+工事費)

L3: 役所等公共機関への直結回線整備総距離

j1: 河川管理用光ファイバ貸出料単価

l1: 河川管理用光ファイバ使用延長

j2: 道路情報ボックス内収容管貸出料単価

l2: 道路情報ボックス内収容管使用延長

m1: ノード設置数

N: ノード設置単価

m2: RT設置数

R: RT設置単価

m3: ネットワークセンター設置数

S: ネットワークセンター設置単価

H: 維持管理・補修費

: パラメータ

G: 減価償却費

t1: 光ファイバケーブルの償却年数

t2: ノードの償却年数

t3: 設備系施設の償却年数

2 - 4 加入世帯数の想定

対象事業においては無線ノード機を設置する想定であり、一般の事例より一機あたり最大約30世帯に無線LANにて1.5~4Mbpsで接続可能な回線数を許容できると想定される。よって初年度の接続可能世帯数 $p_1' = m_1 \times 30$ と

なる。

ここで、無線ノードの許容能力は技術の向上により急速に進歩しており、償却年数は短い。そこで想定事業においては対象地域の 1/n が接続可能なノード数のみ整備し、事業開始後二年目より毎年 $m_1/(n-1)$ 個ずつ、許容世帯数が現在の n 倍のノードに設置しなおすとすると、 k 年目の加入可能世帯数 p_k' は式(5)により示される。

$$p_k' = 30m_1 \left(\frac{n-1}{n-1} \right)^{k-1} + p_{k-1}' \quad (5)$$

よって加入可能世帯数は毎年増加し、事業終了時においては対象地域全世帯が接続可能な状態となる。以上より k 年目の利用者数を利用率 α_k を用いて式(6)に示す。

$$p_k = \alpha_k \cdot 30 \cdot m_1 \left\{ \left(\frac{n-1}{n-1} \right)^{k-1} \right\} \quad (6)$$

なお、ここで (p_k' / p_1') を k 年目における整備率 β_k と定義する。

3. 事業スキームの構築

3-1 参加主体の選定

対象地域に 2-1 で示した IT システム整備事業を行うことを目的とした事業体（以下 FTTH 事業体）が設立されることを想定する。FTTH 事業体は、地域に高速通信網が整備されることにより利益を得る民間事業者からの出資により設立される。そこで利用者の増加が見込めるケーブルテレビ事業者と、農産物や特産品をインターネット上で取引できるウェブサイト運営事業者を出資者と選定する。このサイトはサイバーモールとして複数の商業者により出店されるため、地域の IT 化により利用者の増加が見込めると考えられる。ここでケーブルテレビ事業者（以下 CATV）とサイバーモール運営事業者（以下 S モール）は、毎年 FTTH 事業体に整備委託料を支払い、自治体は補助金を支払う。FTTH 事業体はこれらの収入により、整備ために調達した資金の返済と維持管理を行う。よって事業期間を通しての委託料や補助金の合計額が、事業者と自治体においてそれぞれコスト分担量となる。

ここでのサイバーモールは、地域における産直製品を取り扱うユニークなウェブサイト運営を目的にするもので、特に今回対象とした十勝地域ではその特産品を中心として実現化が期待されている。

また FTTH 事業体は、制度的には PFI によって、構築され、運営され、目標年度以降については、地方自治体等にその運営管理をゆだねる組織として、検討されている。

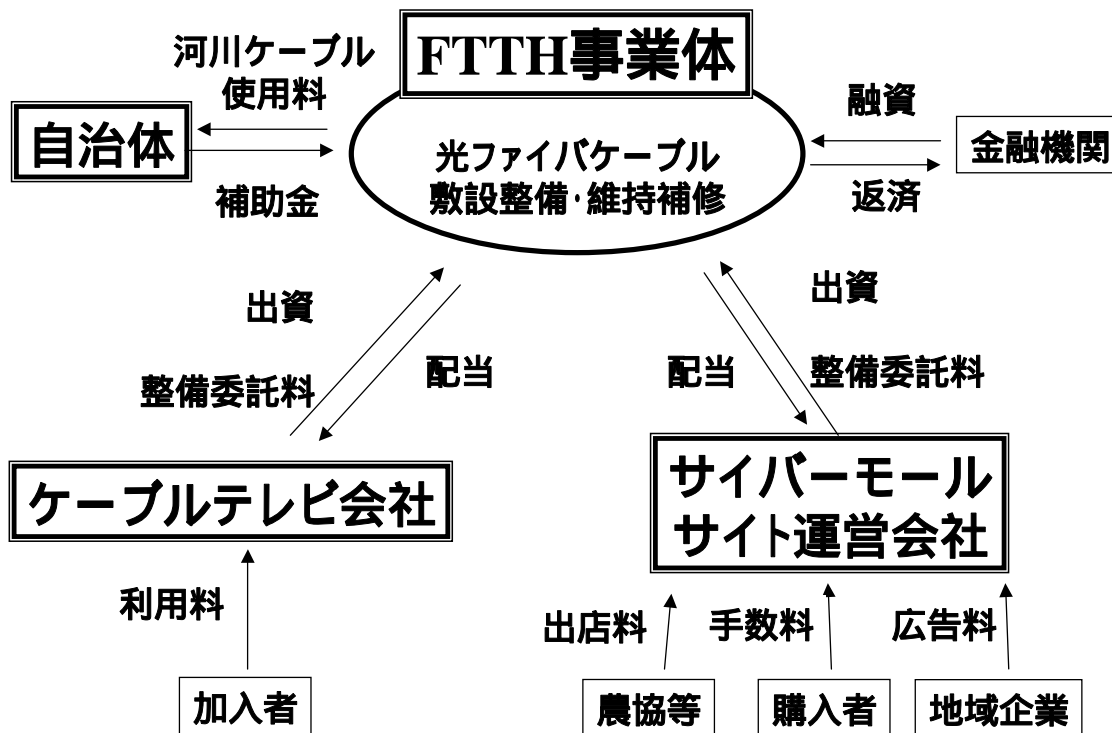


図 3 事業スキーム概要

3-2 調達資金の返済方法

FTTH 事業体は民間事業者からの出資と金融機関からの借入れにより敷設整備（建設期間 1 年）を行い、その後運営期間 n 年間にわたって光ケーブル網の維持管理と返済を行う。借入金は運営 1 年目から n_2 年間で元利均等返済を行う。出資金については n_1 年目より $(n - 1)$ 年度まで、毎年均等に配当する。FTTH 事業体における毎年の余剰の利益は翌年繰越しされ、最終 n 年に出資比率に基づき全額配当されるものとする。図 4 に返済方法について整理する。

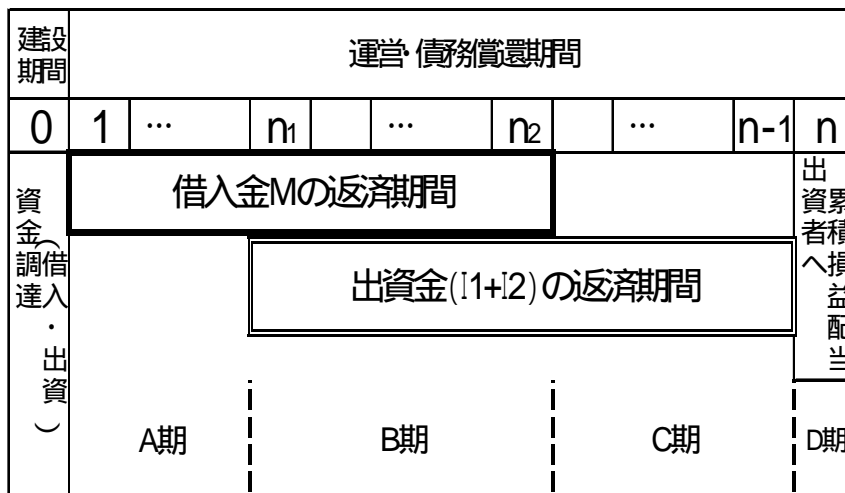


図 4 調達資金の返済方法

4. 効用の最大化問題の適用

4-1 FTTH 事業体のキャッシュフローと効用の定式化

ある k 年度における各主体別の効用関数を、キャッシュフローをもとに作成する。また図 4 において返済金額の異なる A 期、B 期、C 期、D 期ごとに場合分けして定式化を行う。ここで T 期 ($T = A, B, C, D$) における F_k^T 年度の FTTH 事業体のキャッシュフローを CATV、S モール、自治体の効用をそれぞれ、 U_{1T}^k 、 U_{2T}^k 、 U_{3T}^k とおくとそれぞれ式 (8) で表わされる。なお、自治体の効用関数は事業期間をとおして等しく、式 (7) で表される。

$$U_{3A}^k = U_{3B}^k = U_{3C}^k = U_{3D}^k \quad (7)$$

A 期 : $0 < k < n_1$

$$\begin{aligned} F_{Ak} &= x_k + y_k + z_k - jl - G_k - H_k - \frac{Mr(r+1)^{n_2}}{(r+1)^{n_2} - 1} - i_k \\ U_{1A}^k &= (1 - c_1)p_k v - x_k \\ U_{2A}^k &= (1 - c_2)(\theta_1 s_1 w_1 + \theta_2 s_2 w_2 + \theta_3 s_3 p_k) - y_k \\ U_{3A}^k &= jl + q_k p_k - z_k \end{aligned}$$

B 期 : $n_1 \leq k < n_2$

$$\begin{aligned} F_{Bk} &= x_k + y_k + z_k - jl - G_k - H_k - \frac{Mr(r+1)^{n_2}}{(r+1)^{n_1} - 1} - \frac{(I_1 + I_2)(r+1)^{n_1} r(r+1)^{n-n_1}}{(r+1)^{n-n_1} - 1} - i_k \\ U_{1B}^k &= (1 - c_1)p_k v + \frac{I_1(r+1)^{n_1} r(r+1)^{n-n_1}}{(r+1)^{n-n_1} - 1} - \frac{I_1}{n - n_1 + 1} - x_k \\ U_{2B}^k &= (1 - c_2)(\theta_1 s_1 w_1 + \theta_2 s_2 w_2 + \theta_3 s_3 p_k) + \frac{I_2(r+1)^{n_1} r(r+1)^{n-n_1}}{(r+1)^{n-n_1} - 1} - \frac{I_2}{n - n_1 + 1} - y_k \end{aligned}$$

C 期 : $n_2 \leq k < n - 1$

$$\begin{aligned} F_{Ck} &= x_k + y_k + z_k - jl - G_k - H_k - \frac{(I_1 + I_2)r^n r(r+1)^{n-n_1}}{(r+1)^{n-n_1} - 1} - i_k \\ U_{1C}^k &= (1 - c_1)p_k v + \frac{I_1 r^n r(r+1)^{n-n_1}}{(r+1)^{n-n_1} - 1} - \frac{I_1}{n - n_1 + 1} - x_k \\ U_{2C}^k &= (1 - c_2)(\theta_1 s_1 w_1 + \theta_2 s_2 w_2 + \theta_3 s_3 p_k) + \frac{I_2 r^n r(r+1)^{n-n_1}}{(r+1)^{n-n_1} - 1} - \frac{I_2}{n - n_1 + 1} - y_k \end{aligned}$$

D 期 : $k = n$

$$F_{Dk} = x_k + y_k + z_k - jl - G_k - H_k - i_k \quad (8)$$

$$U_{1D}^k = (1 - c_1) p_k v + \frac{I_1}{I_1 + I_2} \sum_{k=1}^n i_k - x_k$$

$$U_{2D}^k = (1 - c_2)(\theta_1 s_1 w_1 + \theta_2 s_2 w_2 + \theta_3 s_3 p_k) + \frac{I_2}{I_1 + I_2} \sum_{k=1}^n i_k - y_k$$

n: 事業期間	i: 当期利益(繰越金)	s_1 : 出店料単価
n1: 出資金償還開始年度	r: 融資金利・割引率	w_1 : 十勝管内農業団体数
n2: 借入金償還終了年度	j: 河川管理用ケーブル貸出単価	${}_1w_1$: 出店舗数
x: CATV 会社による整備委託料	l: 河川管理用ケーブル貸出距離	s_2 : 広告料単価
y: S モール会社による整備委託料	p: CATV 加入者数	w_2 : 十勝管内企業数事業者数
z: 公共による補助金	v: CATV 利用料単価	${}_2w_2$: 広告掲載事業者数
M: 金融機関からの借入金	C1: CATV 会社の運営経費比率	s_3 : S モール利用購入手数料
l1: CATV 会社による出資額	C2: S モール会社の運営経費比率	${}_3p$: S モール利用購入件数
l2: S モール会社による出資額		q: 世帯あたり経済効果

4-2 目的関数と制約条件

図 5 に示すように、想定している事業においては自治体と民間企業が事業の成立という共通の目的を持つ一方で、それぞれが、負担するコストを最小化しようという相反する目的も持って参加すると考えられる。よって各主体のコスト分担量が相互に影響しあう依存関係にあるといえ、そのような集団の全体の効用を評価するために、式(9)で表される積算の効用関数の積を目的関数として採用する。式(10)に示す制約条件式を用い求められた最適解により、事業期間にわたって委託料として各事業者が、補助金として自治体が、それぞれ負担するコストが算出される。

$$\max_{x_k, y_k, z_k} \sum_{k=1}^n U_1^k \cdot \sum_{k=1}^n U_2^k \cdot \sum_{k=1}^n U_3^k \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_k > 0, y_k > 0, z_k > 0, \sum_{k=1}^n F_T^k \\ \sum_{k=1}^n U_1^k \geq 0, \sum_{k=1}^n U_2^k \geq 0, \sum_{k=1}^n U_3^k \end{array} \right. \quad (10)$$

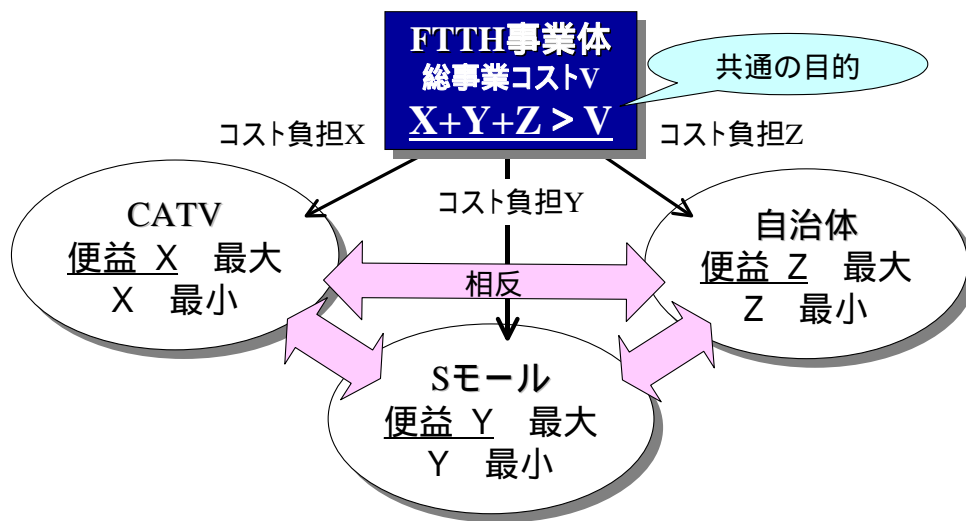


図 5 参加主体の関係

4-3 遺伝的アルゴリズムの適用

式(9)で定義した効用関数は非線形であり、解析的解法は不定形になるために適用できない。効用の最適なコスト分担量をもとめるために遺伝的アルゴリズム²⁾³⁾(Genetic Algorithm: GA)による最適化を適用する。GAは自然淘汰と遺伝の仕組みをモデル化した最適化法であり、複雑な非線形式の最適化を行える手法である。図6にGAの処理手順を示す。

GAにより最適化を行う際の重要となるパラメータは以下のものがある。

- (1) 集団数
- (2) 世代数
- (3) 突然変異率
- (4) 交叉率

上記(1)及び(2)は計算する回数を規定するものであり、(3)及び(4)は局所的な解が算出されないよう、試行錯誤的に与えなければならない。本研究では突然変異率の違いによる世代数、集団数を増やしたときの解のばらつきにくさを感度分析することにより、適切なパラメータを設定する。

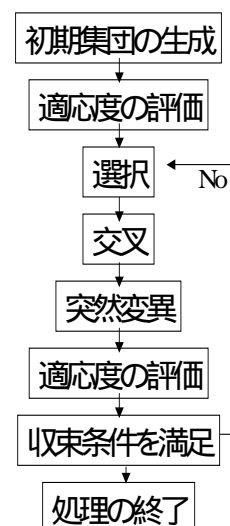


図 6 GAの処理フロー

5. コスト分担量の算出

5-1 条件設定

想定事業を建設期間1年、運営期間を10年としA期、B期、C期をともに3年と想定する。その他の諸条件の設定を表2に示す。各値は事業者等に対して行ったヒヤリング調査などにより設定した。

FTTH事業体は初期投資である建設費Kの0.5を金融機関からの融資により調達し、のこりを二つの民間企業からの出資により調達することとした。出資比率は見込まれる売上比率により決定されることとし、初年度の売上高の比較（CATVの初年度売上：Sモールの初年度売上＝0.77：0.23）よりCATVは建設費Kの 0.5×0.77 、Sモールは 0.5×0.23 を出資することとした。

地域情報化による便益については政府による試算⁴⁾によると、超高速ネットワークが各家庭まで整備された場合、これによる経済効果（節減される社会的費用や移動費用等）は、地方部全体で1年あたり約9.4兆円、1世帯あたりで年間55万円から60万円程度と試算されている。よって地域情報化による一世帯あたりの便益として、その試算より十分小さい値として4万円を設定する。その一世帯における経済効果が自治体において税収として収益になると想定し、税率として20%を想定する。

表2 設定条件

FTTH事業体		r	4%	CATV	
K	916百万円	M, l_1+l_2	$0.5 \times K$		0.4
H	46百万円/年	m_1	296個	p_1'	8865世帯
G	102百万円/年	m_2	13個	$v/12$	3000円/月
N	100万円	m_3	1個	c1	0.5
R	2000万円	t_1	20年	Sモール	
S	1億5千万円	t_2	5年	$s_1/12$	3万円/月
J_1	330万円/km	t_3	10年	w_1	400社
J_2	250万円/km	L_1	30km	$s_1/12$	1万円/月
J_3	80万円/km	L_2	101km	w_2	600社
	3倍	L_3	7km	1, 2	k(整備率)
	5%	公共		s_3	200円/1件
l	240km	q_k	4万円/世帯	s_3	1.0×12
i	100円/m・年		×税率0.2	c2	0.5

5-2 結果と考察

表 2 の条件により総事業費は式(4)より 3,024 百万円と算出される。最大化問題適用により各主体のコスト分担量を算出し、現在価値で累計すると表 3 となる。また算出されたコスト分担量に基づいて得られた各主体の効用値の累計は、図 7 に示す累積収益に相当する。各主体とも黒字で事業を終了しており、また突出して利益の出る主体はいないので、公平性を保った上での適切なコスト分担量の算出が行えたといえる。また表 3 より自治体の負担する割合は 58% となり、民間事業者の参入により負担は軽減されたと言えるが、想定事業によりもっと利益を受ける事業者を選定すれば、より民間の資金の活用した財政負担の軽減が行えると考えられる。

表 3 コスト分担量の累計

	累積コスト負担額(千円)	コスト分担率
CATV	993,792	32.9%
Sモール	269,236	8.9%
自治体	1,761,131	58.2%
総事業費現在価値	3,024,159	100.0%

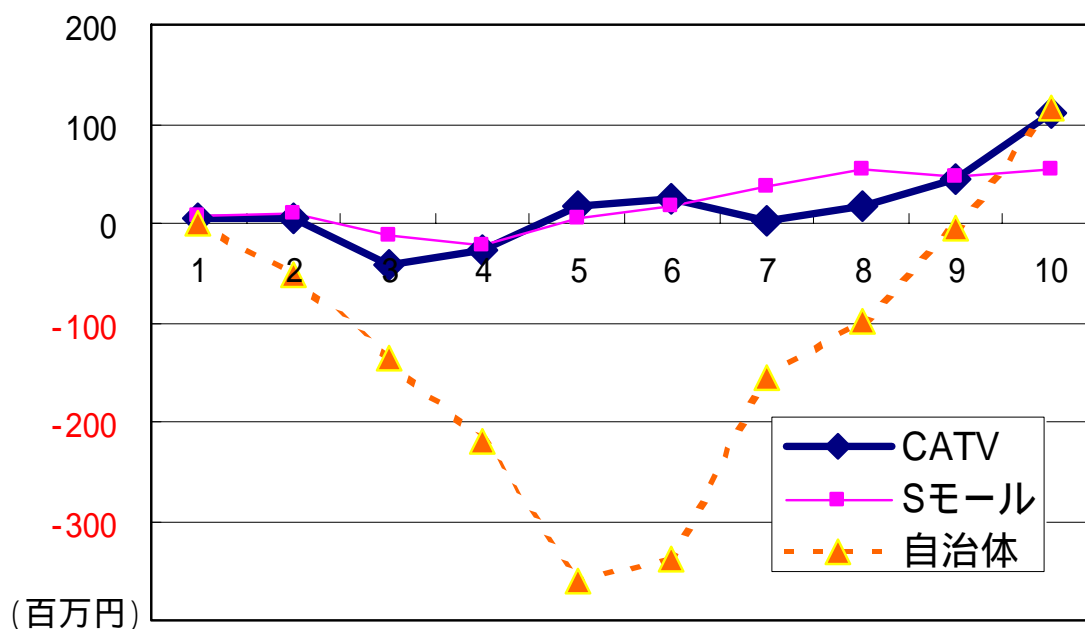


図 7 各主体の累積収益

6.おわりに

本研究の成果として以下の点があげられる。

- ・ 地域 IT システム整備事業において、いくつかのエージェントここでは自治体と民間事業者が協調システムで FTTH 事業体を形成し、共同で資金を出し合い、創発的なスキームを提案し、その可能性を見出した。
- ・ 特に相互依存関係にあるエージェント間でのコスト分担問題を、目的関数として乗数型積算効用関数を適用し、その共用最大問題により、適正な配分値を算出した。
- ・ 適切なコスト負担を行うことにより、互いに収益性が見込まれる上で事業化可能性があることを示した。

本研究では利用率は一定であると設定したが、加入世帯数の変動といったリスクの定量化を行えば、リスク分担問題に適用可能性があると考えられ、今後への課題である。また本研究では行わなかった情報化による地域の便益計測が課題である。

参考文献

- 1) 郵政事業庁：平成 13 年度版情報通信白書、2001
- 2) 伊庭斉志：遺伝的アルゴリズムの基礎、1994
- 3) 北野宏明：遺伝的アルゴリズム、1994
- 4) 総合通信基盤局：21 世紀における情報通信ネットワーク整備に関する懇談会最終報告書、2001
- 5) 第一勧業銀行国際金融部(編)：PFI とプロジェクトファイナンス、東洋経済新報社、1999

助成研究者紹介

か が や せい いち
加賀屋 誠 一

北海道大学大学院工学研究科 教授（学術博士）

主な著書

都市と災害、（ぎょうせい、1984）、都市と情報、（ぎょうせい、1988）、SEA
概念に基づく計画策定のための評価システム（電力土木 285、2000）、石狩
川における河川整備と地域の係わり合いの20年（にほんのかわ 93、日本河
川開発調査会、2001）