

交換代数を用いた実物複式状態に基づくシステム記述とその利活用 —活動時点複式データ把握と情報処理の基本アーキテクチャー—

○出口弘 (千葉商科大学)

Algebraic Double Entry Multi-Dimensional State based Systems Description by Exchange Algebra and Its Application for Systems Management

* Hiroshi Deguchi (Chiba University of Commerce)

概要 本稿では、従来簿記で用いられていた複式の状態記述を一般化した代数的実物簿記により、主体の活動時点(Point of Event)での状態変化を実物単位での複式状態記述により把握し、それを必要とされるマネジメント範囲で集約することで、工場の生産現場などの組織内部から、組織単位、サプライチェーンや組織間連携単位、さらに国のレベルでの様々なマネジメントに利活用するための複式状態によるシステム記述とその情報処理の基本アーキテクチャーについて論じる。

キーワード: 活動時点状態把握, 複式簿記, 交換代数, POE データ, X-Road, 会計公準

1 はじめに

本稿では、複式で実物単位での状態記述をマイクロな主体の活動時点データ (Point of Event Data: POE Data) として、マイクロな活動時点での状態変化の把握に用いるシステム認識と、POE データに基づく様々なシステム境界でのマネジメント (制御) について述べる。一般にシステムの状態を記述するためには、ストック・フロー型の状態記述が、システムの動的変化を把握し制御する基本的なシステム記述として用いられている。この従来からのシステムの状態把握と状態記述では、対象となるシステムに対する状態の区別をベクトルの基底として与え、その基底に対する量的な状態変化を実数あるいは整数で記録するというベクトル型の代数的な記述が用いられてきた。そこでは基底ごとにマイナスの数を含む加減乗除の計算を行い、基底単位での量的な変化を記述している。これを基底毎に一つの計算のエントリーがあるという意味でシングルエントリー (単式) によるシステム記述と呼ぶ。物理的なシステム記述は基本的に単式記述である。これに対して、ここでは複式 (ダブルエントリー) のシステム記述に着目する。複式簿記という名で知られるストック・フロー型のシステム記述は、従来、会計という極めて限定された領域でのシステムの記述の方法であり、一般的に物理的なシステムで用いられた単式のシステム記述との関係はほぼ問われてはこなかった。社会経済の活動に関する状態把握とその変化の記述に用いられる、複式簿記の状態記述は、15世紀イタリアでルカ・パチョーリにより著述された数学書、「Summa de arithmetica, geometria, proportioni et proportionalita」に記載されたことで、広く知られるようになり、その後資本主義の根幹を支える状態記述として発展してきた。この複式の状態記述は、「マイナスの数を用いないこと」、「同じ勘定科目 (基底) に対して借方と貸方の二つのエントリーで変化の記述がなされる (Double Entry) こと」、「負債というマイナスのストック概念

が用いられること」などの特色を持つ。この状態記述はその数学的な構造について、残念ながら十分に検討されてこなかった。また複式簿記による状態記述とその利活用は、現代に至るまで、その応用範囲が、企業の財務状態の記述と、国民経済の一部の記述に限定されてきた。

しかし近年この複式簿記の状態空間の代数的構造が公理的に解明され、その状態記述の持つ意味と可能性が明確になりつつある¹⁾²⁾。その結果、複式による状態とその変化の記述が、単式のベクトル形式の状態記述に、負のストック概念に関する記述を許し、かつ投入と産出、あるいは振替や交換による状態の変化を、マイナスの数を用いないで記述できる、拡張された状態空間であることが明らかとなった。この複式の状態空間は後述するように、主体が関与する社会経済システムの変化を活動時点で捉え、マイクロな状態記述を与えるために極めて本質的な状態空間である。

この主体の活動単位での複式状態記述を様々なシステム境界をスコープとしたマネジメントのための状態記述とし、その計算方法としてデータフロー型の関数計算を宣言型のプログラミングで行う情報処理の枠組みを明らかにすることで、次の時代の社会の様々な領域でのセキュアで時定数の短いデータ処理のインフラ基盤を構想することが本稿の目的となる。

2 複式システム記述のスコープと会計公準

企業簿記は、前世紀の初頭に、会計公準としてその会計認識のためのシステム境界が企業であると定められ、長い間それを踏まえた利活用が行われてきた。ここでは、会計公準と呼ばれる、システム認識の基本原則が定められている¹³⁾。会計公準としては様々な基準が挙げられているが、ここでは最も基本的な S. Gilman による三つの会計基準と、関連する会計測定対象の選択に関する3つの主義についてシステムの視点から

説明する。

会計公準ではまず、1) 永続的なエンティティとしての企業をシステム境界とする記述を行うことが求められる。その上で、2) 様々な勘定科目(基底)で認識する財やサービスや負債は金銭単位で評価することが求められる。さらに、3) 一定期間ごとに期間内の状態変化を集約し状態の更新を行うことという会計期間を定めた記述が求められる。これに加えて、何を会計測定し記述すべきかに対して三つの考え方があある。一つが現金の動きにだけ着目して費用や損益を会計測定・記述する方式でこれを現金主義という。現金主義は現在の会計ではほぼ用いない。これに対して価値が発生した時点で損益を会計測定・記述する方式を発生主義と言う。また費用の支払いや代金の受け取りにより、費用や収益が実現した時点で会計測定・記述を行う方式を実現主義と呼ぶ。現代の会計では、費用に関しては、例えば減価償却を費用として記述するなどのために発生主義を用いる。収益に関しては、契約はなされていても未実現の収益のリスクを避けるために実現主義での会計測定と記述を行う。この3つの会計公準と、発生主義による費用把握、実現主義による収益把握により財務会計のシステム記述は行われている。

他方で、会計伝票として認められる財務会計での会計測定の外側には、驚くほど膨大な複式のデータ群が存在する。その多くは、事実上複式の構造を持ちながらも複式のデータとして扱われているとは言い難い。それらの複式データは、様々な活動イベント単位(Point of Event)で生成され、ビジネスプロセスの中で利活用がなされている場合もあれば、ほとんど利活用されていない場合もある。さらにそのデータの多くは複式でありかつ実物単位での計測と記述が行われている。納品・請求書は、当該の品物を量的に表現する、個数あるいはキログラムなど品物の固有の計測単位を用いることで、どれだけ量を納品し、それに対しいくら請求するかを記載している。見積書、発注書、発注請書、納品・請求書などの諸帳票は、企業のバックオフィスプロセスとして会計処理と連動して発行・承認・送付がなされる(Fig. 1)。

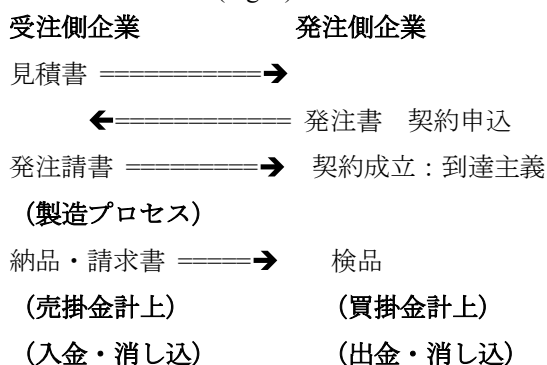


Fig. 1: 取引のバックオフィス処理と連動プロセス

これらのデータは、バックオフィスの見積もりや発注などのイベント時点で生成されるデータである。しかしそこでは積極的に複式のデータとして処理が行われているわけではない。この見積りイベント時点、発注イベント時点、発注請イベント時点、納品請求イベント時点でのデータ記録とバックオフィスプロセスはビジネスモデルや商習慣により様々なバリエーション

がある。また会社法・国際会計基準などによっても一連の流れは異なる。ここで用いられているデータは後ほど示すように実物単位の複式データに、付加的なメタデータが付随した構造となっている。これらのデータを適切なデータ構造でデータコンテナに格納し、それをバックオフィス処理から、製造プロセスの複式記述をはじめ様々な実物複式 POE データの共通の情報処理単位とすることができれば、実物複式 POE データを用いる様々な領域に共通のデジタル利活用基盤が構築できることになる。

しばしばスマートコントラクトにより取引のバックオフィスプロセスが合理化できるという誤解がある。B2Cの通販や自販機などのビジネスモデルでは、契約と入金ほぼ同時にすることができるが、ものづくりの受注生産のみならず多くのB2Bの取引では、収益は実現主義で測定され、実現のポイントは納品・請求書のタイミングとなる。「スマートコントラクト導入により、料金算出や入金確認作業が不要になる等、商社のバックオフィス担当者の最大約8割の業務量削減が可能と試算」<https://www.boj.or.jp/announcements/release_2022/data/rel220114c1.pdf>(20220220Access) や「請求書廃止」「自動計算」「デジタル通貨」のすべてを実現できた場合、商社のバックオフィス担当者の最大8割程度の業務量削減を目指すことが可能」<https://www.boj.or.jp/announcements/release_2022/data/rel220114c7.pdf>(20220220Access)という言説は、情報システムの問題ではなくビジネスプロトコルの変更を主張しているに過ぎない。課題とすべきは今後も続く様々なビジネスプロトコルやビジネスモデルの変革の中で、共通の状態測定と情報処理のモデルと、それに基づく情報処理の基本単位を確立することである。

我々は本稿で、複式によるシステムの状態記述(簿記)を適用するシステム境界の大幅な拡張とそれに基づいたシステムのマネジメント概念の拡大を試みる。

企業をシステム境界として、そこでの損益の変化に着目し、金銭評価に基づくシステム認識を、発生主義あるいは実現主義で測定し記述するという会計公準に変わり、様々な領域でのシステムに対するマネジメントを可能とする実物複式状態空間の構築を可能とする、新しい状態測定とシステム境界の認識原理を明らかにする。その上でそこでの主要なマネジメント項目を示したい。それらを設計するためには複式状態空間の利活用のための仕様記述が必要になる。それを可能とするのが数理的に定式化された実物複式状態のモデリングと計算体系である。さらに実際にデータの蓄積と利活用を行うためには、このデータ構造に適合し、絶えざる組み替えに耐えられる情報処理フレームワークの設計と実装が求められる。

その第一段階として、実物複式データによるシステム記述とマネジメントを行うためのシステム認識基準を次のように定める。

1) 活動時点複式データ把握の原則: 主体の活動(イベント)時点で、活動に伴う状態変化を実物単位での複式の離散イベントとして把握する(Point of Event Dataの取得)。そこでは「実現された状態変化の測定と記述」のみならず、製造タスクでの計画としての原料と製品の投入産出関係のように「計画」段階でのデ

ータを POE データとして認識しその記述を行う。計画と実際の差を調整することはマネジメントの基本であり、POE データの利活用では、計画と実際の比較は重要なマネジメント項目となる。

2) 実物簿記の原則：複式の状態記述の測定系は、金額に限らず対象の財やサービスに対応した実物単位の計測を定め、それによる状態と状態変化を計測する。

3) 複式状態計測とそのマネジメントのスクールの原則：活動時点データを把握し、マネジメントするための主体の活動システムの範囲を決め、それに応じてデータを集約、それに基づいたマネジメントを設計・実行する。

この三つの新しいシステム認識の基準は、主体の活動に伴う変化を活動時点でマイクロに捕捉し、それを必要なマネジメントの対象範囲を境界として集約し、利活用するための基本枠組みとなる。我々がここで POE Data (Point of Event Data) とよぶデータの中には、POS (Point of Sales) データや POP (Point of Production) データや電子インボイスデータなど様々な POE データが含まれる。このような POE データは従来からエッジサイドでの取得と利活用が言われつつも、これを複式のデータオブジェクトとして実物単位で記述し計算し、情報処理を行い、社会的な基盤インフラの上でセキュアに利活用するための枠組みができていなかったことでその利活用が極めて限定された形でしか行われてこなかった領域である。

実物複式 POE データを測定しそれを集約するシステム境界は、同時にそれをマネージメントするためのシステム境界となる。従来は、永続的エンティティ(として想定される)企業と国家が、企業会計と国民経済計算のシステム境界とされ、そこでの認識関心も損益や付加価値の変化(GDP など)に限定されてきた。しかし実物単位での POE データの測定では、財とサービスの生産、エネルギー、CO2、廃棄物、人的資本サービス、医療・介護サービス、物流など様々な領域のデータが含まれる。これらの多くでは従来複式のデータ構造を持つことが認識されていなかった。しかし後述するように主体の活動で、交換を含む何らかの変換が生じるポイントでの変化は、実物複式データとして捉えることが自然であり、従来単なるビックデータとして別々に認識されていたものが、同じ複式のデータ構造を持つことが示される。

ここでは、マイクロプロジェクト型とトランザクションチェーン型の二つの基本的なシステム境界の認識方法とそこでのマネジメントの諸課題をまず示す。これらの領域別の事例は、5 節と 6 節で論じられる。

(1) マイクロプロジェクト型のシステム境界

ここでいうマイクロプロジェクトとは、タスクの半順序の連結によるプロジェクトのことであるが、対象がロット単位の生産など小規模なものが多いため、マイクロプロジェクトと呼ぶことにする。マイクロプロジェクトとして想定されるものには、ロット単位の製造プロセス、疾病単位のクリニカルパス、様々なサービスプロセス、バックオフィスでの受発注プロセスなど様々なタスクの連結によるプロジェクト形式の価値形成活動が挙げられる。これらマイクロプロジェクトを対象とした複式実物 POE データの把握と集約とそれ

に基づくマネジメントは企業組織よりも通常狭い境界でのシステム把握とマネジメントとなる。

(2) トランザクションチェーン型のシステム境界

企業間の取引(トランザクション)のデータは、納品・請求書(インボイス)の形で消費税導入以降広く納税処理のために用いられている。また 2022 年 1 月からの電子証票保存法の施行や 2023 年 10 月からの電子インボイス制度導入と PEPPOL (Pan-European Public Procurement Online) ネットワークの日本での運用開始により、取引データの企業間での転送基盤は準備されつつある

<https://www.digital.go.jp/policies/posts/electronic_invoice>(20220220Access)。だが、PEPPOL は REST API が用意され、JSON 形式で表現されるとはいえ、インボイスの転送以上の利活用は現時点では想定されていない。他方で米国や欧州では Internet of Business や Real Time Economy の構想が醸成されつつある <<https://www.balticsea-region-strategy.eu/news-room/highlights-blog/item/142-workshop-what-is-real-time-economy>>(20220220Access)。だがそこでの技術的基盤は、電子インボイスとその交換システムとしての PEPPOL 以外に具体的な技術枠組みはない。

3 交換代数の数式処理

複式実物簿記(Multi-Dimensional Bookkeeping System)は、通常の簿記に比べて勘定科目に対応する単位系を扱う必要がある。また借方と貸方のバランスも成り立たない。しかし簿記の持つ数理解構を理解することで、複式の状態記述では実物記述の方が根源的な状態記述であり、価格評価に振り返る中でバランス項目として収益を計算することで結果的にバランスするように設計されていることが理解できる。この簿記の数理解構は、既に交換代数の公理系により示されている¹²⁾。

本稿では、複式の状態記述のための数理解構として、交換代数という計算体系を用いる。この交換代数自体は、公理的により規定されるが、本稿では構成的な計算体系としてこれを用いる。交換代数の式は、勘定科目とその評価単位となる順序対を、<現金, 円>のように記してこれを基底とし、係数に正值のみを取る基底からの自由生成で表現される代数式である。この代数式の元に + は、基底間の形式和として表現できる。さらに簿記固有の、ハット (^), バー (~), 射影 (Projection), ノルム (絶対値) という演算を導入したものが交換代数の計算体系である。交換代数の式はマイナスの数値の代わりに ^ (ハット) という記号をつけた基底を用いる。ハットは演算子と同時に基底に対する表現としても用いており、基底 e に対して ^ e = e と規約しておく。簿記の借方貸方で表される状態の表示は、勘定科目とその数量の形式和で示される。

例 1 借方 貸方
りんご 2Kg 現金 500 円 : 実物簿記

これを交換代数式で表現すると次のようになる。x=2<りんご, Kg> + 500^<現金, 円> : 代数的実物簿記

例 2

$$x_1 = 30 \langle \text{現金,円} \rangle + 20 \langle \text{リンゴ,円} \rangle + 50 \langle \text{負債,円} \rangle$$

$$x_2 = 30 \langle \text{ヒラメ,円} \rangle + 40 \langle \text{ぶり,円} \rangle + 70 \langle \text{現金,円} \rangle$$

これは、 $\langle \text{勘定科目名,円} \rangle$ を基底とした交換代数と見なされ、自然な演算が定義される。 $x_1 + x_2 = 30 \langle \text{現金,円} \rangle + 20 \langle \text{リンゴ,円} \rangle + 50 \langle \text{負債,円} \rangle + 30 \langle \text{ヒラメ,円} \rangle + 40 \langle \text{ぶり,円} \rangle + 70 \langle \text{現金,円} \rangle = 100 \langle \text{現金,円} \rangle + 20 \langle \text{リンゴ,円} \rangle + 50 \langle \text{負債,円} \rangle + 30 \langle \text{ヒラメ,円} \rangle + 40 \langle \text{ぶり,円} \rangle$

ここで、マイナスの係数も許せば普通のベクトル空間となる。これに対して、マイナスの数の代わりに係数はプラスの数に限定し、基底に $\hat{}$ (ハット) という記号を導入した代数系を考える。 $\hat{}$ はオペレータの意味でも用いる (単項オペレータ)。

【 $\hat{}$ 操作の意味】

$$y_1 = \hat{x}_1 = 30 \langle \text{現金,円} \rangle + 20 \langle \text{リンゴ,円} \rangle + 50 \langle \text{負債,円} \rangle$$

$$y_2 = \hat{x}_2 = 30 \langle \text{ヒラメ,円} \rangle + 40 \langle \text{ぶり,円} \rangle + 70 \langle \text{現金,円} \rangle$$

$\hat{}$ は意味的には、ある項目に対して、相殺すべき反対項目を表す基底となる。現金が減る事を意味するのが、 $\hat{} \langle \text{現金,円} \rangle$ という基底となる。これを用いるとマイナスの数の代わりに表現が与えられる。

$$\cdot z_1 = 50 \langle \text{現金,円} \rangle, \quad \cdot z_2 = 60 \langle \text{現金,円} \rangle + 10 \langle \text{現金,円} \rangle, \quad \cdot z_3 = 80 \langle \text{現金,円} \rangle + 30 \langle \text{現金,円} \rangle$$

という z_1, z_2, z_3 の三つの表記は「ある意味」同じ状態を相殺されない冗長性を保ち表現していると考えられる。この冗長性を除去し、相殺するために導入されるのが、 $\tilde{}$ (バー) 作用素である。

【 $\tilde{}$ 作用素】

相殺という操作を表す作用素 (オペレータ) として、 $\tilde{}$ (バー) という作用素を導入する。

$$z_1 = \tilde{z}_1 = \tilde{z}_2 = \tilde{z}_3 = 50 \langle \text{現金,円} \rangle \text{ となる。}$$

$$y_1 + x_1 = \hat{x}_1 + x_1 = (30 \langle \text{現金,円} \rangle + 20 \langle \text{リンゴ,円} \rangle + 50 \langle \text{負債,円} \rangle) + (30 \langle \text{現金,円} \rangle + 20 \langle \text{リンゴ,円} \rangle + 50 \langle \text{負債,円} \rangle)$$

$$\tilde{} (y_1 + x_1) = 0 \text{ となる。}$$

このようなハット ($\hat{}$) とバー ($\tilde{}$) という 2 つの作用を持つように拡張されたベクトル的な計算体系を冗長代数と呼ぶ。その公理的定式化は付録で述べる。だが実際の計算はここで示した例が分かれば問題なく行える。

4 自然科学の状態空間の複式化

ここでは複式の状態変化の記述が、物理的な投入産出関係に対しても適用できることを示す。化学反応式は、例えば一酸化炭素 CO と酸素 O₂ を反応させて二

酸化炭素 CO₂ を発生させるとき、 $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$ と記す。これは、工場での原料を投入し、製品や仕掛品を製造する生産プロセスと同様の投入産出関係を表しているとみなせる。これを複式簿記で表現すると、この化学反応式で表されるイベントは、Table 1 のように複式簿記の形式で記述される。

Table 1: CO₂ 生成の化学反応の複式表現

借方	貸方
CO ₂ 2 mol	CO 2 mol
	O ₂ 1 mol

これは交換代数では、 $2 \langle \text{CO}_2, \text{mol} \rangle + 2 \langle \text{CO, mol} \rangle + 1 \langle \text{O}_2, \text{mol} \rangle$ と記述できる。さらに単位系を重量に変えると炭素の原子量が 12 で酸素が 16 とすると、重量比で 88g の CO₂ を生成するのに、56g の CO と 32g の O₂ を投入することになるので、この関係は、交換代数で、 $88 \langle \text{CO}_2, \text{g} \rangle + 56 \langle \text{CO, g} \rangle + 32 \langle \text{O}_2, \text{g} \rangle$ と表現されることになる。初期に、CO が 100g、O₂ が 32g あったとすると、反応後にはこれは、CO が 44g、O₂ は 0g、CO₂ が 88g になるわけだが、これが複式の記述だと、化学反応前の状態が、 $x = 100 \langle \text{CO, g} \rangle + 32 \langle \text{O}_2, \text{g} \rangle$ に対して、科学反応イベントが $y = 88 \langle \text{CO}_2, \text{g} \rangle + 56 \langle \text{CO, g} \rangle + 32 \langle \text{O}_2, \text{g} \rangle$ となり、 $z = x + y = 88 \langle \text{CO}_2, \text{g} \rangle + 56 \langle \text{CO, g} \rangle + 32 \langle \text{O}_2, \text{g} \rangle + 100 \langle \text{CO, g} \rangle + 32 \langle \text{O}_2, \text{g} \rangle$ となる。この残高を取ると、 $\tilde{z} = 88 \langle \text{CO}_2, \text{g} \rangle + 44 \langle \text{CO, g} \rangle + 0 \langle \text{O}_2, \text{g} \rangle$ となる。これを単式のマイナスの数を許すベクトル形式で表現すると、 $x = 100 \langle \text{CO, g} \rangle + 32 \langle \text{O}_2, \text{g} \rangle$ 、 $y = 88 \langle \text{CO}_2, \text{g} \rangle - 56 \langle \text{CO, g} \rangle - 32 \langle \text{O}_2, \text{g} \rangle$ となり、 $z = x + y = 88 \langle \text{CO}_2, \text{g} \rangle + 44 \langle \text{CO, g} \rangle + 0 \langle \text{O}_2, \text{g} \rangle$ となる。

通常の化学反応式では単式記述を用いる。複式記述による記述では、残高を取らない状態を認め、それと残高を取った状態を区別する。化学反応などの物理的な変化ではこの区別は通常意味がない。しかし、工場での生産では、原料と同時に、加工での機械装置を用いた物的資本サービスと専門能力を用いた労働としての人的資本サービスが投入される。そこでは残高を取る前の、冗長度のある複式の状態がマネジメント上の意味を持つのである。

5 マイクロプロジェクトでの POE データとマネジメント

本節ではロット単位の製造の事例を取り上げマイクロプロジェクト領域での POE データとその利活用によるマネジメントについて論じる。従来から工場では製造プロセスを、複数のタスクの連結したプロジェクトとして認識し、その生産管理や受発注管理のマネジメントが行われてきた。しかしそこでは、マイクロプロジェクトとして、計画と実際の落差を埋めるマネジメント、原価計算、人的資本計測、廃棄物管理、タスクの実行管理、プロジェクトの実行管理、人的資本や物的資本の資源割り当てのスケジューリングなどの多様なマネジメントについて、共通のシステム認識のもとで行ってきたわけではない。またマイクロプロジェクトとして認識可能な領域は広範囲に及ぶ。建築の内装工事は、1 室の内装工事が 100 工程以上のタスク

(墨出し、配管、電気工事、床工事などなど) からなるマイクロプロジェクトと見なされ、集合住宅でいえば200室以上の工事をするということは、部屋のタイプ別のマイクロプロジェクトの集合をマネージすることになる。そこではマイクロプロジェクト集合に対する人的資源の割り付けのスケジューリングがマネジメント上の大きな課題となる⁹⁾。

ソフトウェア開発などで、個々のタスクの時間を想定した上で、それぞれのタスクの前後の連結関係を半順序関係で結んだPERT(Program Evaluation and Review Technique)図は、しばしばプロジェクト型のビジネスプロセスの時間管理のツールとして用いられる。ここでは、クリティカルパス分析などの手法が用いられる。PERT 図ではタスクの実行時間は記載されるが、マイクロプロジェクトとして各タスクでの投入産出関係を記述してはいない。マイクロプロジェクトの記述からは逆に PERT 図による分析も可能であり、さらに個々のタスクに、量的に制約のある人的資本サービス、物的資本サービスを割り当てるスケジューリング計画も可能となる。

アウトプットとして、交換可能な何らかの製品を製造する Value in Exchange (交換価値) 領域でのマイクロプロジェクトだけでなく、医療のクリニカルパスなど Value in Use として作られた場所で消費される、様々なサービスのプロセスもまたマイクロプロジェクトとして認識され複式実物の POE データとして記述し得る。

【生産活動の伴う投入産出関係の状態変化の記述】

ここでは生産活動をロット単位の生産をスコープとした状態変化の記述として捉える。ロットをスコープとした場合、ロット内部の最小活動単位として、ロットの生産工程を構成するタスク単位での状態変化の記述に着目する。これを明らかにするために、4 つのタスクからなる単品生産で1ロット1製品(管体)の製造工程を考える(Fig. 1)。

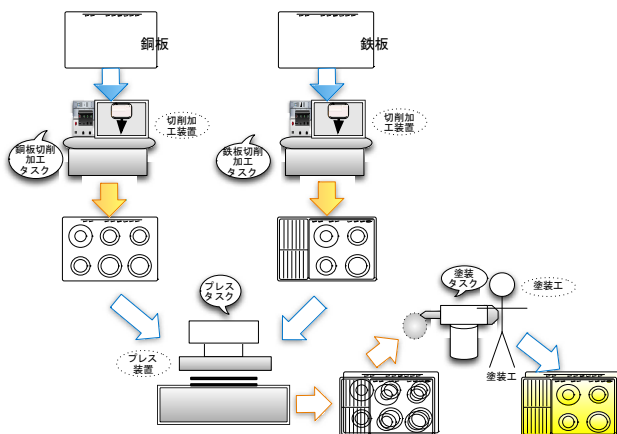


Fig. 1: 4 つのタスクからなる管体製造のマイクロプロジェクト

個々のタスク A~D での加工 (投入産出) に伴う状態変化は実物単位の交換代数で以下のように記述される。

(タスク A) 鉄板切削加工による仕掛品製造での状態

変化

$x[\text{鉄板切削加工仕掛品製造}] = 1 \langle \text{鉄板切削加工仕掛品, 個} \rangle + 5 \langle \text{鉄くず, Kg} \rangle + 20 \langle \text{鉄材, Kg} \rangle + 2 \langle \text{切削加工_物的資本サービス, 時間} \rangle + 0.4 \langle \text{切削加工_人的資本サービス, 時間} \rangle$

この取引は、鉄板材 20Kg を原料として、切削加工の物的資本サービスを2時間投入し、そこにオペレータが0.4時間人的資本サービスとして投入されるとすると、鉄板切削加工仕掛品1個と副産物として鉄くず5Kgが生成されることを示している。これを表形式の実物簿記で書くと次のようになる。

借方	貸方
鉄板切削加工仕掛品 1個	鉄材 20Kg
鉄くず 5Kg	切削加工人的資本サービス 0.4時間
	切削加工物的資本サービス 2時間

(タスク B) 銅板切削加工による仕掛品製造での状態変化

$x[\text{銅板切削加工仕掛品製造}] = 1 \langle \text{銅板切削加工仕掛品, 個} \rangle + 2 \langle \text{銅くず, Kg} \rangle + 8 \langle \text{銅材, Kg} \rangle + 1 \langle \text{切削加工_人的資本サービス, 時間} \rangle + 0.2 \langle \text{切削加工_物的資本サービス, 時間} \rangle$

これを表形式の実物簿記で書くと次のようになる。

借方	貸方
銅板切削加工仕掛品 1個	銅材 8Kg
銅くず 2Kg	切削加工人的資本サービス 0.2時間
	切削加工物的資本サービス 1時間

この取引は銅板材 8Kg を原料として、切削加工の物的資本サービスを1時間投入し、オペレータが0.2時間人的資本サービスとして投入されるとすると、銅板切削加工仕掛品1個と副産物として銅くず2Kgが生成されるという取引を示している。

(タスク C) プレス成形による仕掛品生産での状態変化

$x[\text{プレス成形仕掛品製造}] = 1 \langle \text{プレス成形仕掛品, 個} \rangle + 1 \langle \text{鉄板切削加工仕掛品, 個} \rangle + 1 \langle \text{銅板切削加工仕掛品, 個} \rangle + 1 \langle \text{プレス加工_物的資本サービス, 時間} \rangle + 1 \langle \text{プレス加工_人的資本サービス, 時間} \rangle$

これを表形式の実物簿記で書くと次のようになる。

借方	貸方
プレス成形仕掛品 1個	鉄板切削加工仕掛品 1個
	銅板切削加工仕掛品 1個
	プレス加工人的資本サービス 1時間
	プレス加工物的資本サービス 1時間

これは、鉄板切削加工仕掛品 1 個と銅板切削加工仕掛品 1 個を用いて、プレス加工を 1 時間行くとプレス成形仕掛品が 1 個製造されることを示している。

(タスク D) 塗装済み製品生産での状態変化

$x[\text{塗装済み製品製造}] = 1 \langle \text{塗装済完成品, 個} \rangle$
 $+ 1 \langle \text{プレス成形仕掛品, 個} \rangle + 2 \langle \text{塗料, Kg} \rangle$
 $+ 1 \langle \text{塗装_人的資本サービス, 時間} \rangle + 1 \langle \text{塗装_物的資本サービス, 時間} \rangle$

これを表形式の実物簿記で書くと次のようになる。

借方	貸方
塗装済完成品 1個	プレス成形仕掛品 1個
	塗料 2Kg
	塗装_人的資本サービス 1時間
	塗装_物的資本サービス 1時間

これは、プレス成形仕掛品 1 個に塗料 2 Kg を原料として、塗装作業を 1 時間行くと、塗装済完成品が 1 個製造されることを意味する取引を交換代数で示したものの。この四つのタスク間は上記のような、タスク A とタスク B が終了すると、タスク C が実行可能で、それが終了してタスク D が実行可能となる半順序関係があり、これによりロット全体は 4 つのタスクからなるプロジェクトとみなされる。

ここではタスク A～タスク D の 4 つのタスクのそれぞれの製造工程では、原料或は仕掛品を中心とした生産加工イベントが、それぞれ実物簿記によるトランザクションとして記述されている。この記述は、1) 原料(鉄板或は銅板)や仕掛品の投入、2) 設備を用いて原料や仕掛品を加工するためのサービス(物的資本サービスと人的資本サービス)の投入、という二種類の投入項目と、産出項目としての 3) 製品(仕掛品)の生成と 4) 副産物の産出という項目からなる状態変化が交換代数により記述される。これらから、この管体製造のロット(プロジェクト)単位の投入産出関係が、次のように計算される。

$$z = \{x[\text{鉄板切削加工仕掛品製造}] + x[\text{銅板切削加工仕掛品製造}] + x[\text{プレス成形仕掛品製造}] + x[\text{塗装済み製品製造}]\} = 1 \langle \text{塗装済完成品, 個} \rangle + 5 \langle \text{鉄くず, Kg} \rangle + 2 \langle \text{銅くず, Kg} \rangle + 20 \langle \text{鉄材, Kg} \rangle + 8 \langle \text{銅材, Kg} \rangle + 2 \langle \text{塗料, Kg} \rangle + 3 \langle \text{切削加工_物的資本サービス, 時間} \rangle + 0.6 \langle \text{切削加工_人的資本サービス, 時間} \rangle + 1 \langle \text{プレス加工_物的資本サービス, 時間} \rangle + 1 \langle \text{プレス加工_人的資本サービス, 時間} \rangle + 1 \langle \text{塗装_物的資本サービス, 時間} \rangle + 1 \langle \text{塗装_人的資本サービス, 時間} \rangle$$

ここから、鉄材 300 円/Kg、銅材 1000 円/Kg、塗料 500 円/Kg、切削加工の人的資本サービス単価を時間 2000 円、切削加工の物的資本サービスの時間単価を

6000 円、副産物の銅屑の販売価格 400 円/Kg、これらから、4 つのタスクの各々で、物的資本サービスと人的資本サービスの投入を加え、さらに鉄屑、銅屑の産出をカウントした形でタスク毎の投入産出を明らかにし、それを合成させて塗装完成品の原価は図 2 のように、41500 円と算出される。これは全体工程の BOM (部品展開表) から得られる、塗装完成品価格 = 銅材 8000 円 + 鉄材 6000 円 + 塗料 1000 円 = 15000 円 + 間接費という計算とは大きく乖離している。

借方(産出)	量	実物単	貸方(投入)	量	実物単位
鉄材	300円/Kg		鉄材	6000	円
時間単価	2000円/時間		切削加工_人的資本サービス	800	円
切削加工_物的資本サービス/時間	6000円		切削加工_物的資本サービス	12000	円
銅材	1000円/Kg		銅材	8000	円
時間単価	2000円/時間		切削加工_人的資本サービス	400	円
切削加工_物的資本サービス/時間	6000円		切削加工_物的資本サービス	6000	円
鉄屑販売	40円/Kg		プレス加工_人的資本サービス	2000	円
銅屑販売	400円/Kg		プレス加工_物的資本サービス	4500	円
鉄くず	200	円	塗料	1000	円
銅くず	800	円	塗装_人的資本サービス	1500	時間
塗装済完成品	41500	円	塗装_物的資本サービス	300	時間

Fig. 2: 管体製造のマイクロプロジェクト全体の価格表示の簿記表示

これはそもそも間接費という概念が、POE 概念と乖離しているためである。タスクの投入産出の計画時点 POE データの中で扱われている、人的資本サービスも、物的資本サービスも、くずの処理も間接費として処理されることになる。これをロット個単位でなく月単位での原料の購入と製品の販売で利益計算をするのが通常の工場の原価管理である。これはマイクロプロジェクトのマネジメントとは異なり、企業の損益計算の一環としてなされるからであり、それゆえマイクロマネジメントとはその目的と射程が異なる。

この事例では、ロット単位の原価がタスク単位の実物簿記の計画段階 POE データから計算できることを示した。現在の標準原価計算では、ロット単位での原価について、それを構成するタスクから積み上げる形での原価計算は行われない。しかし、例えば小ロットリピート生産を行う柔軟な小規模生産の現場であればあるほど、企業としての月単位での工場の原料や納品の伝票から月単位での原価と利益を算出するが、そこからはロット単位での損益は求められず、どのロットが儲かっているのかいないのかわからないという深刻な課題が生じる。営業はボリュームの大きなロットを受注してくるがそれが利益を出すとは限らないのである。

ここで述べたロット単位の投入産出の代数的実物簿記による記述は計画値であり、実際の工程では段取り替え時間や様々な条件から生じる計画値との落差を実測しそれをマネジメントする必要がある。活動時点の状態記述は、製造のロットをスコープとした場合には、それを構成するタスクが活動単位となり、タスク単位

の Point of Production の状態を複式的状態記述で把握する。ここでは計画段階での、設計のための製造手配書と一体化したタスク単位のデータコンテナの設計が求められる。製造計画に対して実際の製造時のデータ取得は、IoT を活用して、主にタスクを構成する作業状態と作業状態間の遷移の時間計測を行うことで得られる。実際の測定データからは、段取り替えのばらつき、ロボットのティーチング時間の振れ、物的資本サービスである機械の稼働時間の振れなどが明らかになっている。我々の技術による IoT によるマイクロプロジェクトのタスクの内部状態遷移の計測は、加工装置の内部状態をタスクの状態遷移へとマッピングする技術からなる。これにより後述するように、製造手配書のレベルでの計画段階での投入産出時間を、実際の加工タスクの計測と比較し、その差の原因を明らかにし改善するというマイクロマネジメントが可能となる。この技術は既に研究からビジネスの実装段階にはいっており、幾つかの工場で POC は終了し、ロボットセルに対するリアルタイムの機械稼働監視システムとして外販されている <<https://www.mitzba.co.jp/spn>> (20220220Access)。

ここでは簡単な切削加工の例で、機械装置内部の状態をタスクの内部状態遷移へとコンバートすることで、タスクの投入産出の工程で何がわかるのかを示す。

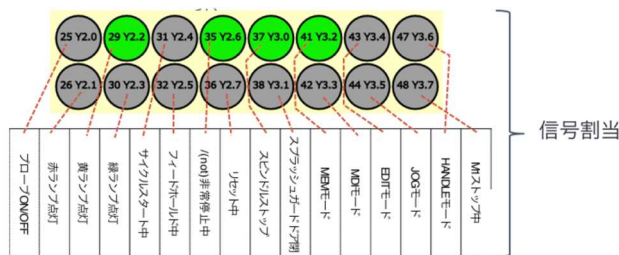


Fig. 3: 切削加工装置の内部状態

Fig. 3 は切削加工機の内部状態信号のデジタル表示で、緑がオン、灰色がオフを表す。これを NCC から取得して、加工のタスクとして意味のある状態へとマッピングすることができる⁸⁾¹⁰⁾。Fig. 4 はコンバートされたタスクの内部状態遷移である。緑が現在の状態を示す。右下が概略の遷移図で、それを拡大して段取りを打ち段取りと外段取りにわけで詳細を示したものが全体図になる。この状態遷移はタスクの内部状態であり、この中では様々な手戻りも想定されている。

このタスクの内部状態が観測されることで、切削加工タスクの投入産出を示す実物複式の生産時点データ（計画）に対して、実際の投入における物的資本サービスの時間を計測し、その落差を埋めるマネジメントが可能となる。原価や生産性に大きく影響するのは、この加工時間のブレであり、その原因を解明するためには、このような状態遷移の測定が必要となる。Fig. 5 は我々が稼働カルテと呼んでいる、内部状態遷移の時間軸表示である。

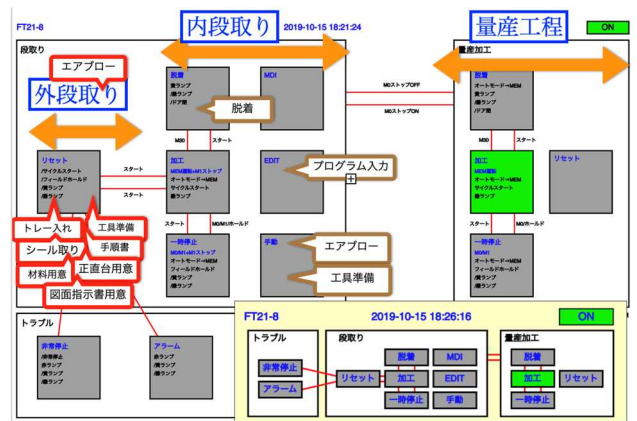


Fig. 4: 切削加工タスクの内部状態遷移図



Fig. 5: 稼働カルテ

このマイクロプロジェクトのタスクの状態遷移やその時間の把握という形での実行管理は、従来の生産管理の中では事実上行われたこなかったマネジメントである。実際に切削加工やロボットセルでこの稼働カルテにより、想定しているよりはるかに大きなばらつきがあることが明らかになった。

製造の現場で従来管理できなかった事柄が明らかになったことは、従来からの生産性のマネジメントに大きな影響を与えるだろう。生産性に対して、マクロな成長会計に基づいた従来の議論や、中小企業の生産性に対する中途半端で実際の工場での生産性改善に役立たない議論に代わって、マイクロプロジェクトでの具体的な投入産出関係を検討することで、製造技術の革新による生産性改善、人的・物的資本サービスの計画時間と実際時間の落差の改善による生産性改善など要因分解した分析が可能となる。IoT により取得したデータから見えるのは、生産プロセスでのタスクの実行時間のばらつきであり、その要因も我々の分析から明らかになりつつある。そこでは人を含む生産システムでのスキルの高度化を含む改善のためのフィードバックがマイクロプロジェクトでのマネジメントの重要な課題となる。

マイクロプロジェクトとして把握される価値形成のシステム領域は製造だけではない。医療や介護の領域では、マイクロプロジェクトに相当するものは、治療や介護のクリニカルパスと呼ばれる。そこでは従来からレセプトデータや電子カルテの形でデータが収集され、利活用が様々な模索されている¹²⁾。医療や介護は、

Value in Use の領域であり、マイクロプロジェクトであるクリニカルパスの各タスクで生成されたサービスは、保険点数と交換で、患者に対するサービスとなり、その場で消費されるとみなされる。しかし、クリニカルパスを構成するタスクごとの投入算出とサービスの利用を、レセプトの点数を含め実物簿記で記述し、POE データとして把握、記述、蓄積する試みはなされていない。

このように活動時点の複式状態記述を適切なマネジメントの範囲で集約することで、企業内部での生産活動から、サプライチェーン、企業間連携、地域や国レベルでの様々なマネジメントのためのシステム記述が可能となる。ただしそのためにはマイクロプロジェクトでの財の生産とそのトランザクションを通じての流通、あるいはマイクロプロジェクトでのサービスの生産とその場での消費を POE データとして捕捉してそれに基づくマネジメントを行うというマネジメント原理そのものの革新が必要となる。

【非財務情報と環境・社会・ガバナンスのマネジメント】

今日着目されているマネジメントの革新に、非財務情報の公開とその利活用がある。有価証券報告書や CSR 報告書、統合報告書、ESG (環境・社会・ガバナンス) 情報など、いわゆる財務会計報告以外の非財務情報について、その標準化と開示の義務化の流れが加速している。非財務情報の開示内容については IFARS 財団が 2021 年 11 月に国際サステナビリティ基準審議会 (ISSB) の設立を公表、数年後には非財務情報国際的な非財務情報の標準化と開示義務化の流れが想定される。だが ESG は、サステナビリティという新たな目標を企業に課すことで、今後の企業組織は、少なくとも短期的には相反する可能性のある、株主利益と ESG の二つの目的に関するマネジメントを必要とする。ここでは ESG に関して、企業単位のマクロな情報や、KPI の設定が議論されている。しかし必要とされるのは、ESG (環境・社会・ガバナンス) に関する、活動時点データとして測定された、状態変化と状態の記述である。ESG の課題には、二酸化炭素の排出や廃棄物管理、再生可能エネルギーや省エネなどの環境情報(E)、人的資本に関する社会 (S)、様々なトランザクションでの不正の監査に関するガバナンス (G) があるが、これら ESG に関する、非財務情報の課題は、実物複式 POE データに基づく状態と状態変化の記述から導出することができる。

環境に関する監査のために、今日環境会計や自然資本、自然資本会計という概念が用いられることが多い<https://www.env.go.jp/policy/j-hiroba/H27_kankyo-kaikei160218.pdf><<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/zu/h26/html/hj14010304.html>>(20220220Access)。しかし、その中身は、企業や国民経済計算でサテライト勘定として別立てで扱われていた環境情報の扱いと本質的に違いはない。これに対してバズや二酸化炭素排出などの情報を、拡張された製造手配書情報としてマイクロプロジェクトの投入産出関係の形で組み込むことができれば、製品ごと、ロットごとの排出物、廃

棄物の管理が原理的に可能となる。また現実的にも、企業単位の環境データをサテライト勘定として、共通の認識で積み上げる試行錯誤よりは、製造のマイクロプロジェクト単位で環境負荷の管理を行うことが、環境や生産性のマネジメントのためには有効となる。

前記の四つのタスクからなるプロジェクトで、タスク B の銅の切削加工について、CO2 の排出と汚染水の排出を考慮した実物複式の POE データは下記になる。

借方	貸方
銅板切削加工仕掛品 1個	銅材 8Kg
銅くず 2Kg	切削加工人的資本サービス 0.2時間
	切削加工物的資本サービス 1時間
	Co2(バズ:環境負債) 1 Kg
	汚染水(バズ:環境負債) 3 Kg

このとき、汚染水や CO2 は、マイナスの価値を持つ財であり、貸方に記入する必要がある。製造工程で、バズ(Bads)としての汚染物質は、負債項目に記載される特殊な財になるが、そもそもバズの会計処理が国内外の会計基準で標準化されていない。なおここで銅くずは、有料で販売できるので、副産物扱いとなる。このとき、この汚染水を外部業者に委託して 1 Kg の汚染水を 10 円で処理を委託したとすれば、その取引は、下記になる。

借方	貸方
汚染水(バズ:環境負債) 3 Kg	現金 30円

このような汚染物質の外部委託を行う場合には、そのトランザクションチェーンを、インボイスにより最終処理されるまで追跡する必要がある。最終処理で、汚染水を無害な水に変化させるとすれば、それは一種の生産 (価値形成) のタスクとなる。

これに対して、CO2 がその場で環境に排出される場合は、異なる会計処理を行う必要がある。企業がその活動で排出した CO2 は、活動の起点となるマイクロプロジェクトとタスクを明示した上で、排出時点で自然環境 (地球) を主体とした取引が行われるとみなすことができる。ここでは環境を取引相手として主体化すると同時に、排出した企業の側は、バズとしての CO2 を環境に対する環境毀損債務(CO2 債務)として計上することで、環境に移転するという取引イベントを企業が計上するという見方が必要となる。その際に排出した企業側の実物複式データは次のようになる。

借方	貸方
Co2(バズ:環境負債) 1 Kg	環境毀損債務(CO2 債務) 1 Kg

これに対して、排出された環境の側も、複式実物簿記のバランスシートを持ち、この取引で環境負荷となる Co2 を受け入れる代わりに、環境毀損債権(Co2 債権)を取得したという記述ができる。

借方	貸方
環境毀損債権(CO2 債権) 1 Kg	Co2(バズ:環境負債) 1 Kg

これにより、バズとしての CO2 の環境排出が、環境との債権・債務関係として記述され、その蓄積をどのように解消するかというマネジメント上の課題が生じることになる。この記述では、自然環境が主体化さ

れ、バツズとしてのCO2が環境に蓄積されるが、自然環境それ自身がCO2を固定化する機能があるため、それを自然による価値形成活動と捉え、自然の側の環境簿記に記載することができる。森林によるCO2除去を森林を資本財とする生産のプロセスとして認識することで、自然に対する環境債務を植樹などの投資で相殺するというマネジメントが見える化される。これは廃棄物処理工場で設備投資することで廃棄物の無害化が行われる生産と同型のバツズ処理の生産のマイクロプロジェクトとみなせる。

【プロファイリングと所要量推計】

エネルギーや人的資本サービスの活動時点の複式実物POEデータを用いることで、エネルギーサービスの種類と量、労働のスキルの種類と量に関して、プロファイリングを行うことができる。これにより人的資本のスキル別計測や、エネルギーの用途別利用の計測などの非財務的情報の抽出が可能となる。

(1) 労働のプロファイリングと所要量推計

サービスや財の生産にどのようなスキルを持った人材による人的資本サービスが必要かについて把握することは働き方のみならず、産業構造を把握する上でも必須である。現在の会計では労賃は商業簿記では下記のように費用計上される。

借方	貸方
給料（費用）	現金

他方で工業簿記では、労賃は、労務費は購入された資産として計上され、その後製造間接費として、製品の原価を求める為に配賦（振替）される。しかし単に労務費という勘定科目からは、人的資本のスキル別の必要量は把握できない。我々が提唱する生産の計画段階でのマイクロプロジェクトとしての記述では、実物簿記を用い、1) 労働サービス（労務費）を時間単位で購入した資産として記述する、2) その上で、労務費を当該の生産タスクで必要とされるスキルを明示した資本サービスに振替える。3) スキル別の人的資本サービスは、そのスキルを必要とするタスクの中で、財やサービスの生産へ投入される、という三つのステップがタスク単位で実物複式情報として記述される。これによりタスクごとに、人的資本サービスの原価のみならず、そのタスクでの生産に必要なスキルを把握することが可能となる。さらに上記2)の当該タスクでの製造に必要なスキルを明示した人的資本サービスへの振替の時に、実際に投入される労働者のスキルツリーが別途管理されていれば、製造工程で必要とされるスキルと投入された従業員の持つスキルを比較し、スキルの利活用に無駄がないかがわかる。現在の、労働の低スキル化とマニュアル化の流れの中では、教育で獲得したスキルツリーが生かせない状況が広く出現しており、これを測定し見える化することは人的資本の計測の重要な課題となる。

このようにマイクロプロジェクト単位で必要なスキルの総量とその投入時間が推計され、さらに社内で生産に必要なマイクロプロジェクトの総量が求められるならば、社内で必要とされるスキル別の人的資本サー

ビスの総量も推計できることになる。さらに、国単位で産業構造を構成するマイクロプロジェクトの総体が推計できるのであれば、そこで用いられているスキルの総量も推計できることになる。

(2) エネルギーのプロファイリングと所要量推計

商業簿記では、購入した電力エネルギーは直接費用勘定に仕分けされる

借方	貸方
電気代（費用）200円	現金 200円

これに対して例えば電気エネルギーを10Kwh購入し、これをエアコンという資本財に投入し、冷房サービスが作り出し、それが消費（工場では投入）されると見なすことができる。ただしここでは家計の耐久消費財については、資本財としての減価償却費を考慮していない。このとき電力は冷房サービスを生み出す投入として扱われ、電力がどのようなサービスを生み出したかのプロファイリングが可能となる。

借方	貸方
(1) 購入：電力 10Kwh	現金 300円
(2) 生産：冷房サービス 10時間	電力 10Kwh
(3) 冷房消費 10時間	冷房サービス 10時間

実際のエネルギー利用状況で Point Of Energy Service Production & Consumption Event のデータとして補足あるいは機器の能力と使用時間などから推計できるようになれば、HEMS, BEMS, CEMS などのエネルギーマネジメントシステムの枠組みに、エネルギー利用のサービスプロファイリングが付け加わることになる。これにより家計単位、地域単位、国単位でどのようなエネルギーサービスが用いられているのかをリアルタイムで補足することも、エネルギー統計の射程にはいる。また例えば白熱電球から LED への変化のようなエネルギーサービス機器の技術革新が同じサービス水準でエネルギー利用をどう変化させるかなどのさまざまな政策的な分析も容易となる。このようなエネルギープロファイリングでは、家計でのサービス生産と自己消費のマイクロプロジェクトを家計タイプ別に明らかにする必要がある。

5 トランザクションチェーンでの POE データとマネジメント

取引の記述は、企業会計では、販売や購入の記録の基本となる。金融商品を含め財の移動や、収益、損失の発生は会計データとして記述される。しかしそれは企業間のトランザクションとしてトレーサブルな形のデータとなっているわけではない。企業間の取引連鎖それ自身がデータとして、物量と金額の両建てで記録され、トレーサブルになることで組織間関係から国レベルまで様々なマネジメントが可能となる。本稿では課題の提示にとどめ、簡単な事例は次節で情報処理の事例として論じる。

サービスサイエンスでは、Value in Use と in Exchange の区別が基本となる。マイクロプロジェクトによって

生成される財には、ものとして交換され流通される財と、その場でサービスとして消費される財がある。後者の代表例は医療であり、医療のクリニカルパスでのさまざまな治療や検査はサービスとして生成され、それが保険点数で患者に販売され、投薬を除きその場で消費される。他方で、物やエネルギーはサプライチェーンを通じて原料や投資、最終消費の場へと流通する。これを実物簿記で活動時点データとして集約することが求められる。これについては、インボイスが世界的に電子的に流通するようになりつつある中で、それを精度的にもシステムのにもどのようにに活用できるかが課題となる。インボイスのデータは実質的に実物簿記でのトランザクションとメタデータでできているので、PEPPOLのデータ構造を組み替えることができる。

その上で、トランザクションチェーンから下記のようなさまざまな監査を行うことが課題となる。

1) 商品の主体間での取引の連鎖に関する追跡可能性の保証, 2) 取引情報の改竄がないこと(無改竄性)の認証, 3) 取引が二重化されていないこと(唯一性)の認証, 4) 取引のチェーンに特定の主体が含まれるかの認証(例: 反社会あるいは機微管理), 5) 特定の主体(開始ノード)から始められた取引であることの認証や監査, 6) 取引のチェーンの途中で組成の改竄が行われていないかなどの監査

これらの監査が、目的と権限に応じて可能となるような仕組みを実物簿記とメタデータからなるデータコンテナの記録を基盤に実現することが課題となる。

さらにその次のステップで、トランザクションチェーンの情報と、財やサービスの生産のマイクロプロジェクトの実物複式 POE 情報を統合することができれば、国民経済計算で統計データから構築されていたコモディティーフローの計測を遥かに詳細で、時定数の短い統計として再構築するという課題が生じる。

6 交換代数による複式状態の情報処理

活動時点で複式の状態を把握し、それをマネジメント範囲とするシステム境界で集約して、様々なマネジメントに用いる、複式実物 POE データの利活用を実際に可能とするためには、そのための理論モデルと情報処理の仕組み、それに基づいた共通の社会インフラ構築が必要となる。そこでは旧来のデータベース処理の基本である ER 図でのデータ構造設計と手続き的なプログラミングは時代遅れとなる。既に見てきたように、多くの活動時点の状態把握は、複式の構造を持ち交換代数でその中心部分は記述できる。したがってそこでの情報処理は、交換代数の元に対する関数型のフィルターの連結によるデータフロー型の計算モデルによって可能となる。さらに個々の関数の記述は、振替伝票を宣言型のデータとした宣言型のプログラミングでその多くが可能となる。本節ではその概要を述べる。

【複式記述と付加情報をオブジェクトとして設計する】

ER 図によるデータ構造の設計と、手続き的なプログラミングという古いパラダイムから脱却して、組織のサブシステム、組織間関係、地域や国家などの様々なスコープでマイクロな複式データを集約して、様々な監査や指標や統計データの抽出などによるマネジメントを可能とするためには、ロバストで組み替えの容易な計算モデルが必要となる。代数型のデータに対する計算には、関数型の計算モデル適していることは古くから知られている。ここでも我々は交換代数に対する関数型の計算(フィルター計算)を用いて、その連結で様々な計算や監査や指数の抽出などを行う計算モデルを構築する。その際に幾つかの課題がある。その一つが、活動時点情報の付加情報の扱いである。生産や取引での状態変化を複式の交換代数で記述するとしても、その状態変化には、日付や取引であれば取引相手の名称や住所など様々な付加情報が必要となる。これは交換代数の複式の状態空間とは別の状態として保持される必要がある。古くから簿記論の中でもこの種の付加情報の扱いについては注目されていた。簿記の計算では、付加情報は伝票から元帳への付加情報として転記されるが計算されない情報として扱われている。他方で状態変化のデータセットをある範囲で集約するなど利活用するときには、日付や取引先の名称、住所などの情報は不可欠となる。従来の会計情報処理では、この付加情報と複式の代数的な構造を持つ状態記述をまとめて ER 図で構造化することによりアドホックで汚いデータベースと、メンテナンスが大変で現場からは構造が見えない情報システムを構築してきた。この付加情報と複式の状態変化を記述する交換代数の情報をパッキングすることで、必要に応じて付加情報から検索や交換代数データの抽出を行い、それに対し様々な演算を関数型で行うことができる。そのためには、交換代数をクラスオブジェクトとすると同時に、付加情報に対しても何らかの標準的なオブジェクト化が必要となる。名前、住所、日付等ほとんどの付加情報はキー・バリュー型の構造で示せるので、付加情報はキーバリュー型の構造を抽象化した半代数構造として定式化して、その計算(抽出やプロジェクトなど)を扱うクラスが実装できればよい。この付加情報を記述する半代数を便宜上データ代数と呼ぶ。この交換代数とデータ代数をパックしたデータ構造は数式記述でできるが、情報処理のためには、関数計算や抽出計算を行うためのクラスの定式化と、外部とデータのやりとりをするためのシリアライズの標準形が必要とされる。我々は既に交換代数とデータ代数を Java 上のクラスとして扱うための専用の言語 FALCON-SEED を開発し、GitHub で公開している <<https://github.com/degulab/FALCON-SEED>>。そのシリアライズには JSON 標準形を作ることが可能である。これにより交換代数を扱うクラスを他の言語で実装しても、シリアライズしたデータからその言語のクラスオブジェクトにデコードすることで、言語の壁を超えた交換代数とデータ代数の情報処理が可能となる。そこで以下で付加情報のついた実物複式データの事例と、組織内のバックオフィスサービスである受発注のマイクロプロジェクトのうち、見積りタスクのアウトプットである見積書を取り上げる。

【見積書における付加情報と実物複式データの事例】

ここでは先に述べた「筐体」の製造に対する見積書を取り上げる。W13 という型番の筐体を5個で見積価格50000円と消費税10%で5000円の見積りを提示したとする。見積書では、この見積り対象の数量と金額の情報（以下見積りの本体）に加えて付加情報として、①タイトル、②宛先、③通番と発行日付、④発行者と押印、⑤挨拶文章、⑥有効期限、⑦支払条件、⑧納期、⑨見積合計金額などが必要となる。見積りの本体は、見積書では表の形で記載されることが多いが、それ自体は複式のデータと見做されていない。これは同様の本体構造を持つ、注文請書や納品・請求書でも同様である。これは取引が発生したわけでも収益が実現したわけでもない時点での情報だからである。契約は標準的には、見積り後、発注があり、それに対して受諾の発注請書が到達した時点で発生する。収益を売掛金として会計伝票として計上するのは、納品・請求書の発送時点である。他方で見積書、注文請書、納品・請求書で、筐体5つを販売したとしたら500000円請求するという実物記述の複式イベントを、想定される取引を記述するものと見なすことは極めて自然である。見積書の本体部分は下記の様に表現される。

借方	貸方
見積価格 500000円	W13_筐体 5個
見積税額 50000円	仮受消費税 50000円

これに対し請求書の本体部分では、下記のように見積価格の部分が請求価格に変化するだけである。

借方	貸方
請求価格 500000円	W13_筐体 5個
請求税額 50000円	仮受消費税 50000円

従って、請求書の本体の複式データに対して、振替伝票として、下記を生成し、これを請求書に足し残高を計算することで、財務会計のための売掛金処理のPOEデータが生成される。

売掛金 500000円	請求価格 500000円
売掛金 50000円	請求税額 500000円
W13_筐体 5個	W13_筐体 500000円

交換代数では、この請求書の本体は、 $x=5^{<W13_筐体,個>} + 500000^{<請求価格,円>} + 5000^{<借受消費税,円>} + 5000^{<請求税額,円>}$ 、振替伝票は、 $y1=500000^{<売掛金,円>} + 500000^{<請求価格,円>} + 50000^{<売掛金,円>} + 5000^{<請求税額,円>}$ と、実物単位を価格評価に振り替える $y2=5^{<W13_筐体,個>} + 500000^{<W13_筐体,円>}$ となり、ここから金銭評価の売掛伝票 $z = \{x + y1 + y2\} = \{5^{<W13_筐体,個>} + 500000^{<請求価格,円>} + 5000^{<借受消費税,円>} + 5000^{<請求税額,円>} + 500000^{<売掛金,円>} + 500000^{<請求価格,円>} + 50000^{<売掛金,円>} + 5000^{<請求税額,円>} + 5^{<W13_筐体,個>} + 500000^{<W13_筐体,円>}$

$=500000^{<W13_筐体,円>} + 5000^{<借受消費税,円>} + 500000^{<売掛金,円>} + 50000^{<売掛金,円>}$ が得られる。このように、見積書から、納品・請求書に至るまで実物複式のデータが変換されながら用いられ、最後の収益の実現ポイントで、財務会計の売掛伝票へと振り返

られる。これら一連のビジネスプロセスでは、本体部分に複式のPOEデータが、見積もりという想定取引段階、発注請書の契約取引段階、請求書での収益実現段階に応じて、付加情報のメタデータを変えつつ処理される。また見積もり段階では、製造計画の実物複式POEデータから、41500円のプロジェク原価が算出され、それに対応するバックオフィスプロセス（マイクロプロジェクト）の原価やその他の間接費、利益を加味して1個100000円の価格が見積もられる。

これら一連のプロセスでは、代数的仕様記述により、付加情報のメタデータをデータ代数で、本体部分を交換代数で表現できる。見積書のメタデータ部分は例えば次のようになる。

Title:見積書, 宛先住所:千葉県市川市, 宛先名称:出口弘, 連番:3256, 発行日付:20220427, 発行者:CUC 商事, 挨拶:下記の通り見積もり致します, 有効期限:20220505, 支払条件:納品後月末締め翌月末一括現金振込, 納期:正式受注後2週間, 見積合計金額:550000円

これはデータ代数で次の様に表現される。

MetaData=見積書<Title, literal>+千葉県市川市<宛先住所, literal>+出口弘<宛先名称, literal>+3256<連番, Int, PKey>+20220427<日付, Int>+CUC 商事<発行者, literal>+下記の通り見積もり致します<挨拶, literal>+20220505<有効期限, Int>+納品後月末締め翌月末一括現金振込<支払条件, literal>+正式受注後2週間<納期, literal>+550000<見積合計金額, Int>

見積もり本体は、交換代数で下記の様に表現される。

Estimate= $x=5^{<W13_筐体,個>} + 500000^{<見積価格,円>} + 5000^{<借受消費税,円>} + 5000^{<見積税額,円>}$

Transfer= $5^{<W13_筐体,個>} + 500000^{<W13_筐体,円>}$

数量から価格への振替伝票はメタデータに価格表を用意し、そこから都度計算することでも得られる。

メタデータとしてのデータ代数と見積本体の交換代数と、数量から価格への振替の交換代数を含む、見積書類は、これらのデータの順序対

Estimate_Doc=(MetaData, Estimate, Transfer)で表現され、これが代数的な見積書の定式化となる。ここでは、見積書類に価格と実物単位の振替伝票も含めているが、これは価格と実物単位の対応情報が追加のメタデータとしてデータ代数で次の様に与えられていれば、そこから価格への振替伝票に当たる交換代数を構成することもできる。PriceData=筐体<名称, literal>+個<実物単位, literal>+100000<単価, Int>. その場合、見積書類は、Estimate_Doc=(MetaData, PriceData, Estimate)で表現することもできる。

このような各種付加情報を含む複式データの間の変換や、その集合からの抽出操作などは、この代数的な定式化による仕様記述が可能となる。例えば、見積書から注文請書、請求書への変換は、実質的に修正がなければ、メタデータ部分を差し替えるだけで生成できる。請求書を売掛金処理する変換は既に述べた。

今後、電子インボイス（請求書）のデータウェアハウスが社会的インフラとして構築され、そこで何らかの監査を行ったり、統計データを抽出するためには、一定の条件を満たすインボイスを抽出することが必要となる。Invoice_Doc_Set でインボイスの集合を表し、インボイスの満たすべき条件をデータ代数と交換代数に対する述語 P で示すならば、抽出データは、

$$\text{Extracted_Data} = \{x \mid x \in \text{Invoice_Doc_Set}, P(x)\}$$

と形式的に仕様記述できる。このようにメタデータと実物複式データおよび価格データの集合としてのデータコンテナを定義できれば、そこからの様々な計算は数理的に仕様記述が可能となる。

以下で、エネルギーインボイスを例として、簡単なサプライチェーン監査のための計算を仕様記述する例を示す。今日の、VPP(Virtual PowerPlant)ビジネスでは、風力発電による電力、太陽光発電による電力、地熱発電による電力、大手電力会社の系統電力など、様々なエネルギーの組成が混交して扱われる。しかしエネルギーそのものからはその組成が問えない以上、エネルギーインボイスを用いて、販売されたエネルギーが正しい組成なのかについての監査が課題とならざるを得ない。

そこで例えば、エネルギーの組成を表現するために、勘定科目（交換代数の基底）として {<Solar_E, kwh>, <Wind_E, kwh>, <Geothermal_E, kwh>, <Coal_E, kwh>, <Oil_E, kwh>, <Gas_E, kwh>, <Atomic_E, kwh>} のような組成別のエネルギーを区別する。組成別エネルギー購入取引の例として次の様な消費税や項目を省いて単純化されたインボイスを考える。

発電事業者 1 の VPP 業者 1 への太陽光エネルギー販売のインボイスのデータコンテナ $C1 = \{M1, X1\}$

$M1 = \text{発電業者 1} \langle \text{売手, literal} \rangle + \text{VPP 業者 1} \langle \text{買手, literal} \rangle$, $X1 = 10^{\wedge} \langle \text{Solar_E, kwh} \rangle + 300 \langle \text{請求金額, 円} \rangle$

VPP 業者 1 の家計 1 への太陽光エネルギー販売のインボイスのデータコンテナ $C2 = \{M2, X2\}$

$M2 = \text{VPP 業者 1} \langle \text{売手, literal} \rangle + \text{家計 1} \langle \text{買手, literal} \rangle$

$X2 = 10^{\wedge} \langle \text{Solar_E, kwh} \rangle + 400 \langle \text{請求金額, 円} \rangle$

VPP の太陽光エネルギーの購入と販売に関する組成監査は、VPP が買手の全ての太陽光エネルギーの購入のインボイスと、VPP が売手の全ての太陽光エネルギーのインボイスを集め、太陽光エネルギーについて、購入と販売の相殺が成り立つかを監査することになる。

$\text{Selected_Buy} = \{ C \mid C \in C_Set, C = (M, X), \text{Projection_Value}[\langle \text{買手, literal} \rangle] (M) = \text{VPP 業者 1} \}$

$\text{Selected_Sell} = \{ C \mid C \in C_Set, C = (M, X), \text{Projection_Value}[\langle \text{売手, literal} \rangle] (M) = \text{VPP 業者 1} \}$

$\text{Buy_Solar_E} = \{ Z \mid C \in \text{Selected_Buy}, C = (M, X), Z = \wedge Y, Y = \text{Projection}[\langle \text{Solar_E, kwh} \rangle](X) \}$

$\text{Sell_Solar_E} = \{ Y \mid C \in \text{Selected_Sell}, C = (M, X), Y = \text{Projection}[\langle \text{Solar_E, kwh} \rangle](X) \}$

$W = \text{SUM}(\text{Buy_Solar_E}) + \text{SUM}(\text{Sell_Solar_E})$ これは、VPP 業者が購入した太陽光エネルギーの交換代数と販売した太陽光エネルギーの交換代数を全て足したものとなる。もし $W = 0$ となれば、購入と販売は相殺されていることになるが、0 にならず \wedge のついた販売が過剰の場合は、組成不正があったことになる。

同様の監査は、産地偽装など様々なケースで導入可能である。これらサプライチェーン上での監査は、実物簿記であるが故に、相殺による不突合が検出できることに注意したい。金銭価値でエネルギーや品物の流通を追跡しても、中途での流通付加価値が生じることで、金銭評価での突合は意味をなさなくなる。逆に、サプライチェーン上でのコモディティフローの計測では、この価値の湧き出しを統計的に捕捉する必要がある。

国民経済計算のコモディティフロー法では、コモ 8 桁（平成 12 年基準）で 2126（屑・副産物を含む）の商品分類ごとに、流通の各段階で商品の需要先別の比率を「配分比率」として捉え、それに各段階でのマージン額や運賃を、マージン率、運賃率を産業連環分析をもとに産出し、それぞれの段階での付加価値形成を産出している。<https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/reference1/h12/pdf/chap_2.pdf>(20220222Access)。この生産側からの物的接近法は、コモ 6 桁で 372 品目、最終的にアグリゲートされると 22 品目まで集約される。

トランザクションチェーン上での流通経費（運賃）のインボイスも含む形で、実物複式 POE データのデータコンテナを集積した、インボイスのデータウェアハウスを構築することができるのであれば、原理的にはコモディティフローのコモ 8 桁以上の精度での認識が可能である。これに加え主要産業の製造に関するマイクロプロジェクトを集積分析することができれば、マイクロな生産関数と、産業連環のネットワーク解析が可能となる。産業連環分析のマトリックス形式はこの製造と流通のネットワークをマトリックス形式にたたみ込んだ構造とみなされる。このような POE データの取得と利用が可能となれば、「工業統計表」等の生産統計から、各商品の生産額あるいは出荷額を把握して、さらに「通関統計」から求められる輸出入による調整を加えることで、コモ 8 桁、あるいは 6 桁の粒度で分類された商品の国内総供給を得る、現在のコモディティフロー法に対応するデータがさらに詳細な粒度でかつ短い時定数で直接測定することが可能となる。だがそのためには個票利活用に関するセキュリティ上の課

題がある。これについては7節で述べる。

【関数型計算を振替変換という宣言型のプログラミングで実装する】

交換代数及びデータ代数の情報処理でのもう一つの課題が、関数型の計算のアルゴリズムの実装方法である。ER 図に基づくデータ構造に基づく手続き型の計算モデルでは、実際の状態変化をマネージする現場からは、どのような計算を行っているかは見えないブラックボックスとなる。マネジメントのスコープを、金銭単位で企業単位にとる情報処理では、データが発生し、それを把握・活用するためのマイクロな「意味」を理解している現場にとっては、情報処理がブラックボックスであるという大問題がある。現場がマニュアル通りに作業をすることだけが求められ、作業の意味を理解しスキルアップすることが求められない労働モデルであれば情報処理が現場と分離した設計がなされていても問題はないかもしれない。実際にシーメンスが MindSphere で想定している工場はそのようなトップダウンのビジョンに基づいている<<https://siemens.mindsphere.io/en>>(20220220Access)。しかし我々は、活動時点情報に基づいたマイクロデータを局所的なマネジメントにも活かすことで、組み替えが容易で、変化にロバストに対応できる。結果として様々な財やサービスを産み出す能力を持った生産システムを構想している。実際に、日本の多品種小ロット生産の現場では、頻繁なラインの組み替えがあり現場は常に改善を繰り返している。それに対して情報システムの設計と実装が追従できないが故に工場の DX が進まないという現状がある。

現場で理解できる複式データの典型的な扱いに、「振り替え」計算がある。これは「対象となる複式データに振替伝票という形で振替情報の複式データを足して残高を取る」という計算であり、簿記の計算として、極めて一般的な計算方法として知られている。実際、簿記の計算の大部分はこの振替計算で実行できる。その際に用いられる振替伝票の中に、実際に何を計算するかという内容が含まれている。例えば実物記述を金銭記述に変換するには、実物単位の財やサービスの価格に基づいた振替伝票を作成し、それを加えて残高を取ることで変換計算は行われる。これはプログラミングの世界で宣言型プログラミング(Declarative programming)と呼ばれる方法に対応する。宣言型のプログラミングは関数計算と相性がいいことが知られているが、交換代数の計算では、振替伝票がどのような処理をするかの意味を表現する宣言型のデータであり、それ自体が複式のデータとなっている。この振替伝票を生成するためには、個々のデータ処理の局面でその関数型のフィルター計算の意味を理解している必要がある。この振替による宣言型の計算により、交換代数の関数計算の多くの部分が実装できる。結果として関数型のフィルター計算の連鎖として実行される情報処理では、データフローの経路を組み替えることに対してロバストな情報システムが容易に設計・実装できる。

既に論じてきた数理的なデータコンテナの仕様記述を実際の情報処理として実装するためには、数理的に

定式化されたデータコンテナに対して、交換代数とデータ代数のオブジェクトからなるデータ構造を定義して、その上の抽出述語や関数の情報処理を定義する必要がある。そのために、交換代数とデータ代数を Java 上のクラスとして扱うための専用のフレームワークである FALCON-SEED が開発され GitHub 上で公開されていることは既に述べた。この FALCON-SEED 上の AADL 言語によりこれらの抽出述語や関数の定式化は記述できる。これによりデータコンテナに対する、関数型の処理に基づくデータフロー型の情報処理が可能となる。データフロー型の情報処理は、マイクロサービス化することができ、情報システムの組み替えをロバストに行うことができる。ER 図に基づいたデータベース処理が、手続き型で、使用記述も代数的に行うことができず、さらに実務面では、追加データにより汚いデータベースへと容易に変化し、ビジネスプロセスの変化に対応した改変が難しいのに対し、ビジネスプロセスに応じたデータコンテナの変換を仕様記述から実装まで一貫して行えることで、オフィスから工場、さらにサプライチェーン上での様々な実物複式の POE データの情報処理が明晰になる。ただしネットワーク上で、このデータコンテナをやりとりし、異なった処理系の上でも同一の代数的仕様記述に基づく操作を可能とするためには、交換代数とデータ代数を含む、複式実物の POE 情報のシリアルライズが必要となる。そのためには、データ代数と交換代数を含むデータコンテナの JSON 標準形を定義すれば良い。これにより REST 対応で、例えば Django フレームワークで、データコンテナに対する情報処理を行えば、クラウド上での複式実物 POE データのデータ処理が容易に実装可能となる。また REST 対応でシリアルライズされたデータの転送が可能であれば、X-Road のセキュリティサーバ経由で、データの漏洩リスクを最小にした上で、膨大な POE データの組織透過的で、国家透過的な監査や統計抽出などのセキュアな利活用が可能となる。

ここでは、見積書類の Estimate_Doc=(MetaData, Estimate, Transfer)に対して、その JSON 標準形の例を示す。

```
 {"MetaData": [{"Title": "見積書"}, {"宛先": {"住所": "千葉県市川市", "名称": "出口弘"}, {"連番": "3256"}, {"発行日付": "20210427"}, {"発行者": "CUC 商事"}, {"挨拶": "下記の通り見積もり致します"}, {"有効期限": "20210505"}, {"支払条件": "納品後月末締め翌月末一括現金振込"}, {"納期": "正式受注後2週間"}, {"見積合計金額": "550000"}],
```

```
 "Details": {"Exalge": [{"Value": "5", "HAT": true, "Account": "W13_筐体", "Unit": "個"}, {"Value": "500000", "HAT": false, "Account": "見積価格", "Unit": "円"}],
```

```
 "Exalge": [{"Value": "50000", "HAT": false, "Account": "借受消費税", "Unit": "円"}, {"Value": "50000", "HAT": false, "Account": "見積税額", "Unit": "円"}],
```

```
"Transfer":{"Exalge": [{"Value": 5, "HAT":false,"Account": "W13_筐体", "Unit": "個"}, {"Value": 50000, "HAT":true,"Account": "W13_筐体", "Unit": "円"}]}
```

7 活動時点複式状態把握とその情報処理の射程と社会的インフラ構築

本稿で扱った、活動時点での複式状態把握とその情報処理の範囲には、企業のロット単位での生産管理や、ロット単位でのサービスの生産管理、サプライチェーン上での二酸化炭素や廃棄物の排出量管理、組成の異なるエネルギーの流通での正当性の管理、家計や企業、地域、国家などそれぞれの範囲でのエネルギーの利活用管理、取引単位での測定に基づくコモディティフローの計測と国民経済計算への利活用、など企業のサブシステムから企業間関係、国家単位まで様々な範囲で、活動時点データを集約することで、それぞれの目的に応じたマネジメントが可能となる。

しかし組織の壁を越えた様々なマイクロデータの集積の実現と利活用のためには三つの大きな課題がある。一つはセキュアな、例えば X-Road のようなインフラの構築である<<https://x-road.global>>(20220222 Access)。だが X-Road のようなインターネット上でのセキュアなサーバ間連携の基盤インフラと、その上のデータウェアハウスの構築に関しては、その構築に投資する主体はどこかという課題がある。第二は、その上で個票としての様々な実物複式 POE データを集積するデータコンテナに対して、個票の秘密を維持したまま、如何に監査や統計計算を行うかという課題である。第三の課題は、個票を蓄積する秘匿性の高いデータウェアハウスに対して、そこでの組織や個人のデータへのアクセス（トレース行為）そのものを確実にトレースして、ID を特定し開示する仕組み作りである<http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/singi/toukei/2008wg/wg4/wg4_11/siryuu_3.pdf>(20220222 Access)。

マイクロデータを利活用するためには、それが電子インボイスや、レセプトデータを含む多様な個票の扱いを必要とするため、従来の枠組みを超えたセキュリティに関する根本的なアーキテクチャを必要とする。その基本的な原理として「特定の個人や組織に関するトレーサブルなデータへアクセスする行為そのものを記録として管理しそれをトレーサブルにするというダブルトレーサビリティ原理が提案されている³⁾⁴⁾。これを実現するには、一定以上の秘匿性を持つ個票サーバへのアクセスを、X-road のようにセキュリティサーバを経由してマイナンバーのような個人 ID でアクセスし、全てのアクセスログを独立管理し、個票データをトレースした ID をトレースできるようにする必要がある。このような基盤インフラが社会の共通インフラとなり、その上に、個人や組織の秘匿個票にアクセスがあればその ID を通知するシステムや、統計的な利用に関して、統計計算を秘匿して行う統計計算サーバ

などの実装求められる。

この三つの条件が満たされなければ、膨大な POE データは、個人の行動にインセンティブや圧力により干渉し変容させるツールに用いられるリスクが高い。既に個人への干渉は独裁国家で思想や行動への道具として用いられているだけではない。民主主義国家でも選挙の結果を数%程度ずらすことを、ケンブリッジ・アナリティカがフェイスブックの5000万人分のデータを用いて選挙戦へと干渉したことで、そのリスクが示されている<https://www.huffingtonpost.jp/2018/03/19/facebook_a_23390009/>(20220222 Access)。

物の生産と流通のサプライチェーン、サービスの生産と消費の全域に渡る、実物複式 POE データが利用可能となることで、我々の社会経済システムに関するマネジメントの質は大きく変化する。長期的には、家計の消費そのものを、様々な生活サービス（衣食住等の諸サービス）を産出する家計内のマイクロプロジェクトによって作られたサービスとその自己消費として認識する必要がある。その上で、この家計の生活サービスの原料購入や、物的資本サービス（冷蔵庫は家事でのフリージングサービスのための物的資本サービスを提供する等）のための資本財（家電や住宅など）の購入が製造から流通に至るトランザクションチェーンの末端で結びつけられる。さらに人的資本サービスの提供と交換で得られる家計収入がその購入と結び付けられることで、生産と消費の成長するダイナミックなネットワークとしての全体像がマイクロな複式の価値形成と交換のプロセスの中で把握可能となる。このネットワークを制御し、高いスキルの人的資本サービスと高度な物的資本サービスのもとで人々の生活を豊かに維持することのできる価値形成と循環のネットワークを成長させつつ制御することが我々の社会経済システムの政策マネジメントのための最大の課題となる。現在の経済統計では、そのような価値形成と交換・消費・配分・投資の動的な循環ネットワークの構造を、産業連関表や、コモディティフローの調査、工業統計調査などを通じて、その大雑把な輪郭を掴んでいるに過ぎない。またフォン・ノイマンに始まる成長可能フロンティアに対するターンパイク経路の分析は、高々投資と消費の配分の中での成長可能フロンティアの経路最適化を行なっているにすぎない。そこでは、労働サイドのスキルに応じた労働のスキル別所要量推計はない。また生産やサービスのマイクロプロジェクトを国全体で集約して、そこからどのようなスキルの人的資本サービスが今現在の産業構造の下で投入されているかを示し、さらに今後想定される産業構造ではスキル別の人的資本サービスがどのように変化するかに関するスキル別の人的資本サービスの必要供給量推計が行われる必要がある。今現在労働のプラットフォームリゼーションで生じつつある、ギグワークや、労働のマニュアル化による低スキル労働の増大が、どのような人的資本のスキル構成を社会にもたらし、それがスキルと収入のアンダークラスを生み出し、それが中間所得と中間スキルの集団を解体させるリスクについて、統計的にも、経済の成長シナリオとしても検証する必

要がある。そのためには、財やサービスの生産のマイクロプロジェクトを総量として把握し、そこでのスキルセットを把握することが必要となる。結果的に教育が供給するスキルよりも低いスキルをプラットフォーム化産業が求め、低い収入と低いスキルのアンダークラス集団が広がっていくという経済成長のシナリオが、流通領域のみならず、製造領域も含め広範に進行するのであれば、見かけの生産性の上昇にもかかわらず、社会は成長の隘路に陥り、スキルと収入の二重のデバインドが社会に生じ、それが民主主義社会の存続そのものを脅かしかねない。これとは異なり、多様で高いスキルを持ちそのスキルをライフタイムで向上させることができる集団が中間層として形成され、その層が十分な消費力を持つだけの収入がそのスキルが活かされることで得られ、その消費と対応するような多様な財とサービスを生み出すというビジョンを対抗シナリオとして打ち出すためには、マイクロデータに基づいた人的資本に関する新しい統計とそれに基づいたマイクロな成長モデルが必要となる。

最終需要サイドでは、家族構成や収入に応じ、どのような居住・服飾・遊び・調理・空調・掃除・洗濯等々の消費サービスが家計のマイクロプロジェクトを通じて供給され自己消費されるかの需要量が家計内の消費サービスのマイクロプロジェクトを根拠として推計される必要がある。消費サービスの総需要量と、財とサービスの生産、消費、流通、投資と労働のスキル別の供給と所得の分配が、動的ネットワークとして記述され制御されることが求められる。だが21世紀の社会経済システムの現状はそれとは程遠い位置にある。現在の社会は、様々な価値形成活動が可能とする財やサービスの生産と流通、消費の活動からなる動的なネットワークが潜在的に到達可能な価値形成とその投資、消費のありようよりもはるかに低い地点で循環しているように見える。低スキル労働による生産性上昇を求める労働のプラットフォーム化は、低スキル労働とアンダークラスの増大を招き、中産階級の没落の可能性さえ見えている。このままではプランテーション経済の下で中産階級が形成されず、成長できなかったかつての南米などの経済と同型の隘路に陥りかねない。この隘路を脱出して豊かな財やサービスの生産と消費のネットワークを生成しそれを動的に維持し制御するための枠組みの構築が求められる。

同時に、我々の社会が開かれた民主主義社会として生き延びていくためには、個人のデータを管理しそれにより間接的に個人の行動に影響を及ぼすシステムとその試み自体が、透明に見える化され抑制される必要がある。この条件を満たす社会インフラを構築することができた社会が、次の時代に、マイクロで時定数の短い膨大な活動時点データを利活用することで、個人や組織の多様な創造性を最大限に活かす社会を構築するための必要条件を満たすことになる。

参考文献

- 1) H. Deguchi, B. Nakano: "Axiomatic Foundations of Vector Accounting", *Systems Research*, **3-1**, 31/39 (1986)
- 2) H. Deguchi, *Economics as an Agent-Based Complex System*, Springer-Verlag (2004)
- 3) 出口, 榎: 統計システムの高度利活用に関する三つの提言
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/singi/toukei/2008wg/wg4/wg4_11/siryou_3.pdf
(20220222Access)
- 4) 出口, 榎, 大貫: 電子スキャニング統計の構想とそのアーキテクチャデザイン (持続可能な社会経済システムと地域総合デザイン), *社会・経済システム*, **31**, 115/120 (2010)
- 5) 出口, 市川, 石塚, 志手, 染谷, 湯浅: 並列プロジェクト・タスク処理への多能工割付けの動的スケジューリング, *国際 P2M 学会誌*, **6-1**, 179/189 (2011)
- 6) 出口: POE(Point Of Event)データとその利活用, *システム/制御/情報*, **58-7**, 274/281 (2014)
- 7) 出口, 竹林, 吉田, 梅宮, 紺野, 石塚, 木寺, 倉田, Chang: エネルギー会計によるエネルギー運用計画デザイン, *国際 P2M 学会誌*, **10-1**, 191/214 (2017)
- 8) 出口: 製造業における IoT の導入支援, *月刊化学工業*, **69-9**, 14/21 (2018)
- 9) 井尻: 三式簿記の研究—複式簿記の論理的拡張をめざして, 中央経済社 (1984)
- 10) 石塚, 倉田, 橋場, 成瀬, 出口: IoT を用いた製造工程における状態管理システムの研究, *電気学会論文誌C*, **140-6**, 573/582 (2020)
- 11) R. Mattessich: *Two Hundred Years of Accounting Research*, Routledge (2011)
- 12) 尾花, 重茂, 河合, 大橋, 土谷, 中尾, 黒田, 星野, 出口, 小笠原: 「糖尿病の予知・予防」に係る政策オプションの作成, *研究・イノベーション学会年次大会講演要旨集* **29**, 157/162 (2014)
- 13) H. I. Wolk, J. L. Dodd, J. J. Rozycki: *Accounting Theory: Conceptual Issues in a Political and Economic Environment* (9th edition), SAGE Publications, Inc., (2016)

特許

- (1) 特許第 5749561 号 (スケジューリング装置及びプログラム : プロジェクト集合への資源割付のスケジューリング)
- (2) 特許 5794568 (2015 登録, データ編集装置およびデータ編集方法 : データ蓄積と編集のための代数的なデータオブジェクトの構成とフィルター型データ変換の方法)
- (3) 特許 6251166 (2017 登録, 情報処理システムおよび記録装置 : スマートメータのためのエネルギー簿記の設計方法)
- (4) 特許 6261079 (ワークフロー管理装置, ワークフロー管理方法およびワークフロー管理プログラム : 自律的プログラムを持つ IOT 機器をネットで結び統合的なサービスを実現するための方法の発明)
- (5) United States Patent 10,296,496 (2019 登録, Data editing device and data editing method : データ蓄積と編集のための代数的なデータオブジェクトの構成とフィルター型データ変換の方法 : 日本の登録特許 6251166 に対応)