

Vensim PLE を使った SD 応用 (1)

—老人介護施設例—

(1997 年 4 月)

(2008 年 11 月改定版)

目 次

1. はじめに	1
2. 老人介護施設の背景	2
3. 方法論	2
4. 分析	3
5. ソリューション	22
6. 注釈	24
7. 参考文献	26

1. はじめに

この「Vensim PLE を使った SD 応用 (1)ー老人介護施設例ー」は、「Vensim PLE 入門」の補助教材として開発したものです。「Vensim PLE 入門」を読んで、Vensim PLE の使い方が理解できた初心者に、経営問題でどのようにグループ・モデル・ビルディングという手法を使って取り組んでいくかの道筋を示す目的で執筆しました。従って、Vensim PLE の操作方法ではなく、SD の応用の方法 (グループ・モデル・ビルディング) が記載されています。

Vensim PLE の操作方法は、「Vensim PLE 入門」を読んでください。(注 1)

この教材は、筆者がある経営コンサルティング会社に勤務していた時代に、新人コンサルタント研修で使っていた SD 教材 (旧版) を基に加筆・訂正したものです。この研修のことやこの研修教材、グループ・モデル・ビルディングについては SD 学会日本支部の月例研究会で紹介したことがありますので、すでにご承知の方も多いと思います。

この筆者が属していた経営コンサルティング会社では、経営問題の分析、改善提言、改善計画策定支援、改善計画導入支援、モニタリング及び評価支援を行っていて、筆者の場合は、ここで述べているような SD (システム・ダイナミックス) をシミュレーション・モデルに使った手法を採択していました。また、筆者は新しく採用した経営コンサルタントへの研修を担当していました。このような研修を担当していると、研修終了後、しばらくしてから、SD のモデル例がないかという質問をよく受けました。モデル例を提供することにやぶさかではないのですが、そして、SD を技術として習得するには多くのモデルを研究してみることは有効ではあるのですが、筆者は、SD は技術ではなくむしろ考え方であると思っていますので、SD モデルそのものを提供することには少し抵抗を感じます。この教材も、ある老人介護施設事業の経営を例に、例えば、経営問題には SD 的にはこのように取り組んで解決していくのだという手順を解説しているつもりです。

経営コンサルティングでは、提供するコンサルティングの品質を確保するために、方法論と呼ばれる実施手順や分析手法などを標準化したものを使って実施するのが普通です。併せて、方法論とはどのようなものであり、SD を使ってどう方法論を進めていくかを理解してもらえれば幸いです。

2. 老人介護施設の背景

先にお断りしておきますが、この老人介護施設は架空のものです。

A 社は、風光明媚な南伊豆に、ある程度金持ちの退職者を対象にした会員制の老人介護施設を作ることになりました。施設と言っても、海外の観光リゾートを意識したもので、海が見える丘の上に、老人夫婦が住む一軒家 (コテージ) を分譲住宅のように区各分けして建設した住居部の入口付近に、医師、看護婦、介護士が詰めている管理棟がある、公団や分譲住宅地のような形式です。一軒家は規格設計で、一階建て、キッチン、ダイニング、寝室が揃ったゆったりとした造りで、全ての部屋が南向きになっていて、庭があり、趣味で花壇を作っている人もいます。管理棟には、診察所、集会所や図書館、コンビニ、ちよっ

としたレストランやお酒が飲めるバーなどもあり、医療・保健サービスを受けられるだけでなく、生活に必要な商品の調達や娯楽サービスなども受けられます。管理棟の横にはテニス・コートやゲート・ボールを楽しめる場所もあり、また、施設の外は絶好の散策コースになっています。車で約 30 分の距離に町があり、約 1 時間間隔で定期バスが施設前に停まります。さらには町から電車を利用して東京に数時間で行くことも可能ですが、基本的にはこの老人介護施設内で必要なものはほとんど全て賄えますので、生活をする上で町までわざわざ行く必要はありません。

入会金（住居棟購入一時金）と保健サービス費、光熱費などを含む管理費さえ支払えば、この介護施設にはだれでも入居できます。特に何か資格のようなものを設けているわけではありません。入会金は住居棟の需要と供給で変動します。現在は、宣伝効果も相まって、住人数に対して年間約 14.5%の新規入居者（転入）があります。ただ、この老人介護施設での生活に飽きたなどいろんな理由で、この老人介護施設を去っていく人もいて、転出率は現在、年間約 2%です。この老人介護施設は会員制で、入会も脱会も自由であり、転出の理由は特には分析調査していません。さらに、住民は老人ばかりなので、死亡率は年間 2.5%です。死亡は老衰によるものがほとんどで、衛生問題で引き起こされたものはありません。

住居棟の供給が十分に需要を上回っていれば、年間あたり 14.5%以上の転入がみられますが、住居棟の供給が十分に需要を上回っている状態でも、年間あたり約 2%の転出があります。住居棟の供給が需要を上回っている場合、A 社は入会金を下げ、宣伝活動を頻繁に実施し、転入者を増やそうとします。

住居棟の供給が需要を下回っている場合、転入者は自分が望む場所にある住居棟に入居できるとは限りなくなります。約 5 年待てば、空きになる住居棟も出るので自分が望む場所にある住居棟にほぼ入居できますが、待てない人も多く、この老人介護施設に入ってみたものの、気に入らなく、転出する者が増えていきます。

A 社は、建設に利用可能な土地が残されている限り住居棟建設を継続する方針です。年間約 14.5%の通常の転入と既存の住居棟を考慮し、現在は、人口の 12%増加分を賄うペースで住居棟建設を行っています。住居棟の供給が過剰になると、新規建設着工件数を削減します。また、住居棟用に区画された土地が少なくなるにつれて、建設稼働率は下がっていきます。住居棟の平均耐用年数はおよそ 50 年です。

この A 社の老人介護施設ビジネスを分析し、事業の将来性、事業継続上の注意事項などについてアドバイスを行って下さい。

3. 方法論

経営コンサルティングとは経営上の問題に対するソリューション（解決方法）の提供を行うことで、図 1 のような手順でモデルを構築し、モデルを使ってシミュレーションを行い、ソリューションや代替案を考えだし、改善アドバイスを行い、改善案を策定します。ステップ 1 の定性モデル構築で多くの定性的な問題とその発生メカニズムが分析されます。

ステップ 2 の定量モデル構築及びステップ 3 のシミュレーションで、さらに定量的な問題とその及ぼす影響が分析されます。ソリューションの一部は、すでにステップ 1 の段階でそのアイデアが生まれます。ただ、問題やソリューションによっては、シミュレーションしてみないと確定しないこともあり、ステップ 3 でシミュレーションをすることで定量モデルの妥当性やソリューションの妥当性を検証することが必要になります。

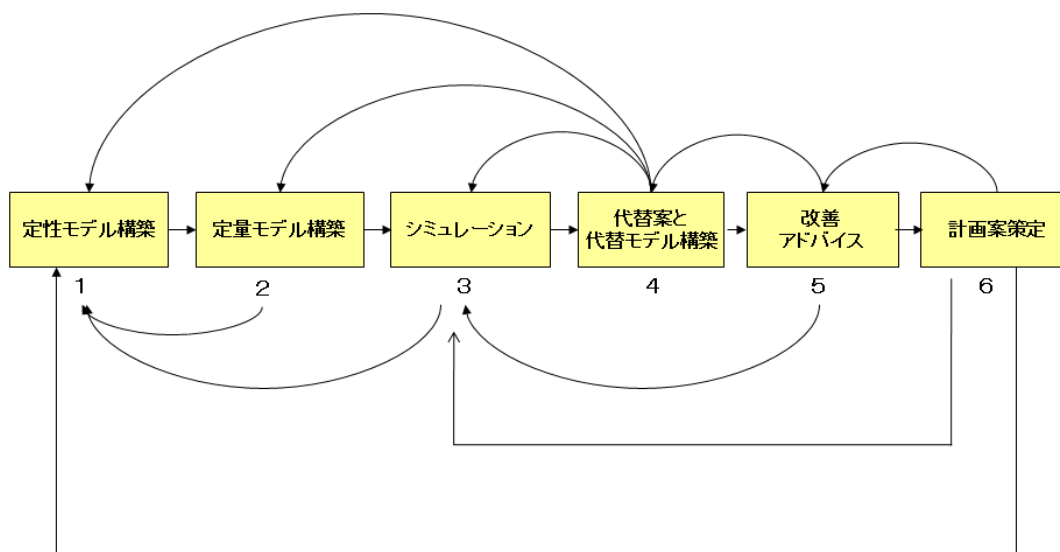


図 1：方法論

また、ソリューションに関しても、いろんな代替案を考える必要があります。通常、経営問題は複数の問題が絡み合っていて発生していることが多く、いくつかの解決方法を組み合わせることで問題を解決していく必要があります。投入できる経営資源の制限（量、質、時間）など諸条件も考慮しながら解決の順番も考える必要があります。また、経営コンサルタントは、アドバイスは行うことができますが、意志決定はできません。こういったことから、いくつか代替案を提供し、意志決定者に決断を下してもらいます。代替案によっては、ステップ 2 で作成した定量モデルでは不十分で、もっと要素を追加したり、全く別のモデルを構築することが必要になる場合も出てきます。

意志決定者が選択したソリューションに対して導入に関する改善アドバイスを提供するのも経営コンサルタントの仕事です。そして、効果が高い方法や手順で効率的に改善を推進するための計画案の作成支援を行います。

4. 分析

この節は、図 1 に示した手順の中で、ステップ 1 から 3 までの手順を、解説したものです。経営コンサルタントによっては、ステップ 1 から 3 までを「分析」、ステップ 4 以降を「ソリューション」と呼んでいますので、この節は分析の手順について解説していること

になります。「分析」は、以下の手順で行います。この 8 項目についてこの節で解説します。
(1)から(4)までがステップ 1 に、(5)から(7)までがステップ 2 に、そして(8)がステップ 3 に対応します。

(1) ステップ 1：定性モデル構築（と定性的な問題構造の分析）

- 1) ヘキサゴン、もしくは、ポストイットを使った問題の要素の発見
- 2) 問題の構造の分析
- 3) 主要な変数の確定と、時系列変動図による分析
- 4) 変数間の因果関係の分析と、因果関係図（CLD）による分析

(2) ステップ 2：定量モデル構築

- 5) ストック、フロー、関数、数式及び定数による変数の定義
- 6) 定量モデルの設計
- 7) 定量モデルの構築

(3) シミュレーション（と定量的な問題の分析）

- 8) 定量モデルを使ったシミュレーション実行

(1) ステップ 1：定性モデル構築（と定性的な問題構造の分析）

グループ・モデル構築手法では、コンサルタントを含む顧客の関係者を集め、グループでディスカッションを行いながら定性モデルの構築と構築した定性モデルを使った問題の構造分析を行います。（注 2）メンバーには、主要部署で中堅となっている社員を選出してもらいます。その際、経営問題に関して改善意欲があり人の意見を聞ける前向きな人を選んでもらいます。メンバーとなる人は部長や課長といった経営管理側の立場（役付）である必要はありませんが、その部署で行われている仕事の内容ややり方を十分熟知した人である必要があります。人数は最大でも 20 名を超えない範囲にします。10～15 名程度が最適です。ここに進行役のコンサルタントとそのアシスタントの 2 名のコンサルタントが加わり、作業を進めていきます。もし、20 名を超えるようであればグループ分けして、グループ毎にアシスタントを 1 名付けます。コンサルタントは全体の進行管理（コーディネーション）、アシスタントはグループの作業や議論をガイドし世話をする役割分担になります。

1) ヘキサゴン、もしくは、ポストイットを使った問題の要素の発見

この作業では、経営問題となっている主要な要素を洗い出します。この作業では、六角形をしたヘキサゴン・カードを使うことを推奨しています。これは、この後に述べるグルーピング作業がしやすくなるからですが、なかなか入手が難しく、また作成にも手間がかかるので、筆者の場合は大型のポストイットで代替していました。ヘキサゴン・カードは、直径約 20cm の単なるカードでしかすぎません。便利ではあるのですが必要不可欠というものではありません。オフィスでよく見られるコピーをしくじった A4 の裏紙を 4 つに切った

ものでも十分代用できます。

メンバーを集め、趣旨や作業手順を説明した後、経営問題となっている、あるいはその経営問題のキーとなる要素をヘキサゴン・カードにフェルトペンで記載してもらいます。会場は、筆者の場合は、20人程度が収容できるミーティング・ルームを使い、机は取り外し、椅子だけの部屋にしています。ここに、梱包用に使われるうす茶の大型の紙（ブラウン・ペーパー）を持ち込み、壁に張っておきます。この壁にヘキサゴン・カードを張り付けたり、フェルトペンで書き込みなどを行います。ブラウン・ペーパーは梱包材店で入手できますが、模造紙で代用してもかまいません。筆者は開発途上国でも実施することがありますが、開発途上国などでの実施ではそのようなものが入手不可能な場合があります。新聞紙を張り合わせて代用することすらあります。この壁に向かって椅子を半円形に並べます。

フェルトペンはホワイトボード・マーカーという商品名の方が通りが良いかも知れません。ホワイトボードなどに使われる太字用のものを使います。色としては、黒、青、赤の3色を用意しておきます。黒は記述用、青と赤は要素間に線を引くために用いています。水性と油性があるようですが、どちらでもかまいません。メンバーによってはボールペンや鉛筆でカードに記載する人もいますが、壁に張り出すので、ボールペンや鉛筆で記載されると見難いので、必ず、フェルトペンで記載するようにお願いしています。また、必ず黒のフェルトペンで記載させて下さい。

経営問題のキーとなる要素をヘキサゴン・カードにフェルトペンで記載して下さいと言っても最初はチンプンカンプンな顔をされるだけです。「貴社の老人介護施設ビジネスの問題は何でしょうか？」「貴社の老人介護施設ビジネスの発展に関係する要素は何でしょうか？」「それを単語あるいは短い文章で表現するとどの単語になるのでしょうか？」というような質問をコンサルタント側から投げかけ、カードに、要素となる事項を表現する単語（キーワード）あるいは短い文章を記載してもらいます。（注3）この際に、メンバーの間で問題発生の前後関係などいろんな議論が出てくると思います。この議論は問題の背景の理解に重要ですので、議論を止めないようにします。ただ、同時に、議論がヒートすると変な方向に行きますので、問題は何か、問題に関係する要素な何か、そしてそれを単語あるいは短い文章で表現するとすればどのようなものになるのかという定義のための議論から外れないようにコンサルタントやアシスタントはコントロールして下さい。キーワードはいくつあっても構いませんが、必ず1つのカードには1つのキーワードしか記載しないで下さい。複数キーワードがあれば複数のカードを使って下さい。単語で表現できれば一番いいのですが、なかなか難しいこともありますので、短い文章で表現することも筆者の場合認めています。例えば「資金不足」という単語ではなく、「建設費用が賄えない」といった表現も認めています。コンサルタントが最初に例を示すのもいいかも知れません。

キーワードを記載したカードの上方に通番を振り、議論をさせながら壁にどんどん張り出します。この連番記載と張り出し作業はコンサルタントあるいはアシスタントが行います。メンバーには議論とキーワードの書き出しに専念させて下さい。

先の老人介護施設の場合の例を図 2 に示します。この際、似たようなキーワードを記載されることがありますが、この段階では気にせず、どんどん書き出させ、張り出していきます。壁に張り出されていくキーワードを見ながら、メンバーは議論しさらにキーワードを追加していくのですが、一旦壁に張り出したものを違う表現にしたいという希望が出されることがありますので、表現を変えてもかまいません。また、もっと厳密な表現にするため、キーワードを分けたいという希望が表明されることもあります。これもキーワードを分けてもかまいません。例えば、最初は「転出」というキーワードだけであったのが、「住居棟不足によって発生する転出」と普通の「転出」に分ける方がいいので、「住居棟不足によって発生する転出」のカードを追加するといったことも認めています。

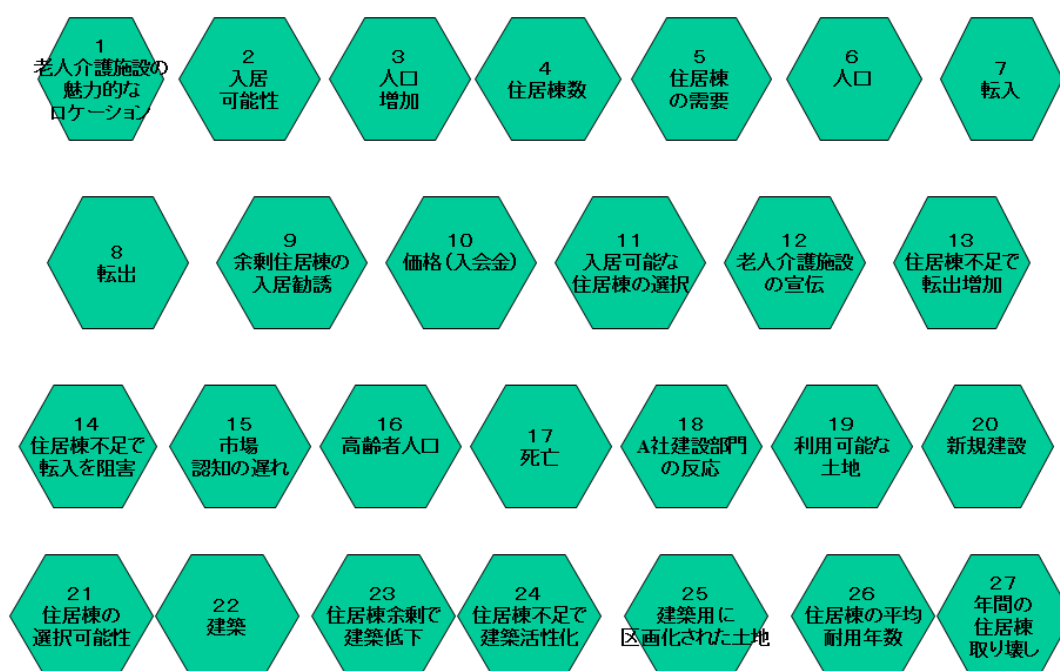


図 2：壁に張り出されたキーワード例

この作業は通常 20 分もかければ、キーワードは出尽くすと思われます。あまり長く時間をかけてもキーワードはそれ以上には出てきませんので、キーワードが出尽くしたと思われる時点でこの作業を中止し、次の作業に移ります。次の作業へ移る前に、コンサルタントあるいはアシスタントは、ヘキサゴン・カードに記載されたキーワードの意味をメンバーの前で再確認して下さい。

2) 問題の構造の分析

ここでは、ヘキサゴン・カードをグループとしてまとめます。まず、似たような内容のカードを近くに来るようにカードを移動させます。もし複数のグループに属すると思われ

るカードがあれば、別の新しいカードに書き込み、両方のグループ（クラスター）に配置します。グループにならない単独のカードがあってもかまいません。同じ意味であるカードが発見された場合、1つのカードに統一します。図3は図2で挙げられたカードをグルーピングした例です。何となく6つのグループに分けられそうであるということが理解されたいと思います。問題の複雑さなどにより一概には言えませんが、一般的に、1つのクラスターに属するカードは、5〜8個の範囲に留めておくことが適切です。もし、あるクラスターが大きすぎるようであれば、さらに2〜3個のサブテーマに分け、クラスターを分解できないか検討してみてください。逆にグループ数が多く、1つのグループに属するカード数が少ない場合、クラスターが断片化しすぎていると考えられますので、共通する要素を見直し、もっとクラスター数を減らせないか検討してみてください。やはり問題の複雑さなどによりこれも一概には言えませんが、クラスターの数も10を超えると認識が難しくなります。また、クラスター内のカードの位置関係も、より関係の深いカードをより近くに来るように並べて下さい。議論でカードの並べ替えは頻繁に起きますので、筆者の場合、張り替えの容易さを考え大型のポストイットを使っています。

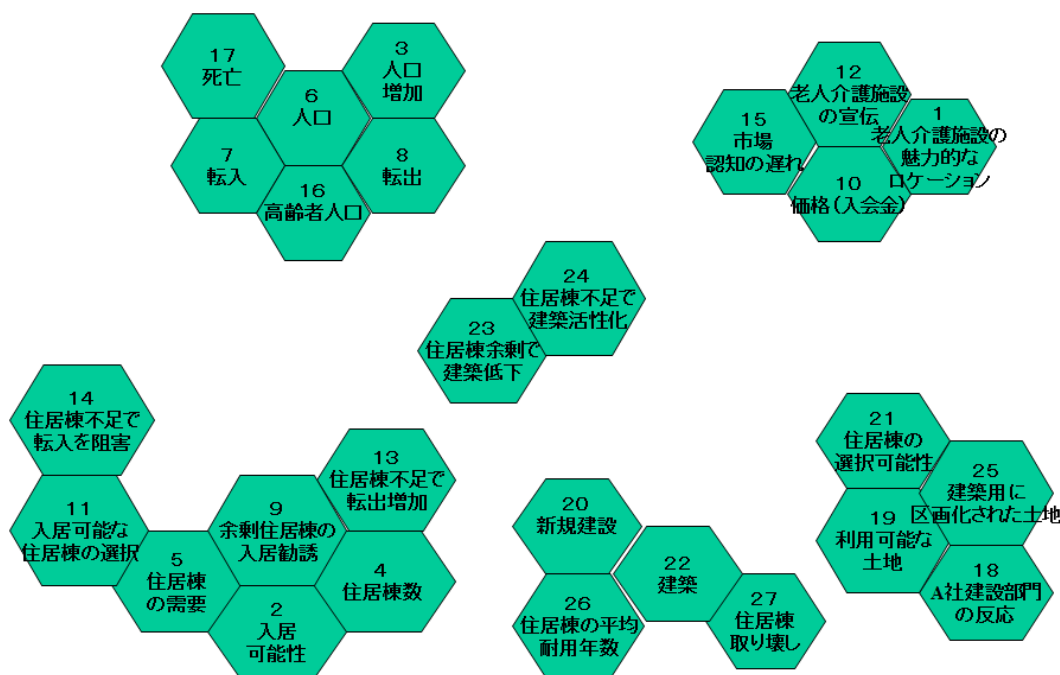


図3：クラスター例

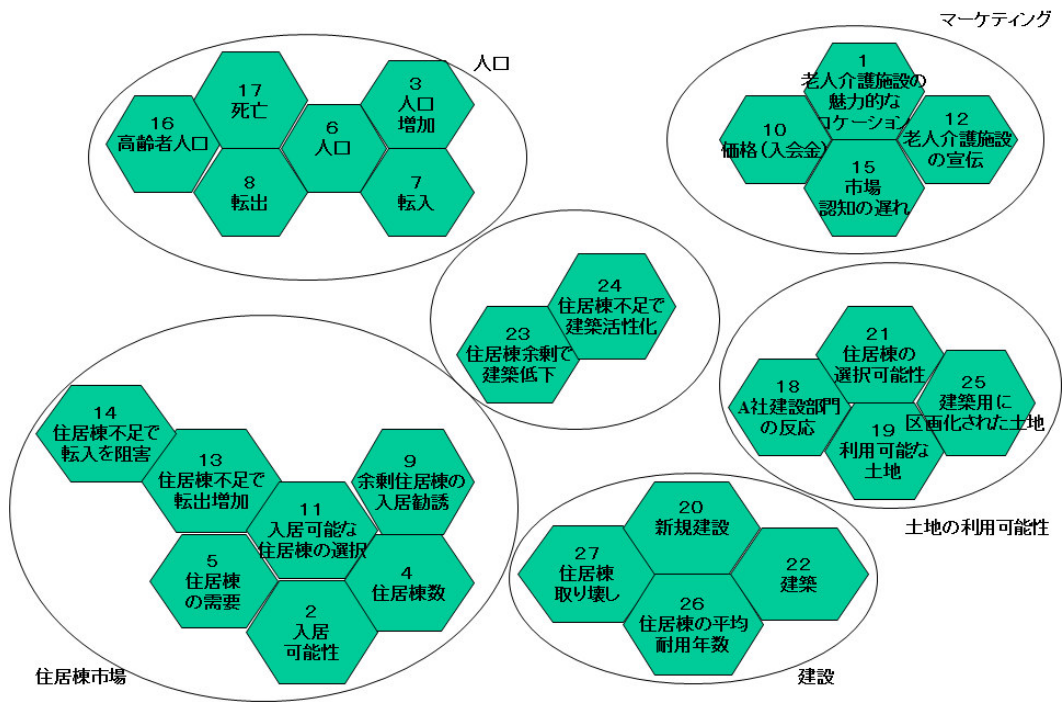


図4：クラスターの名称付け例

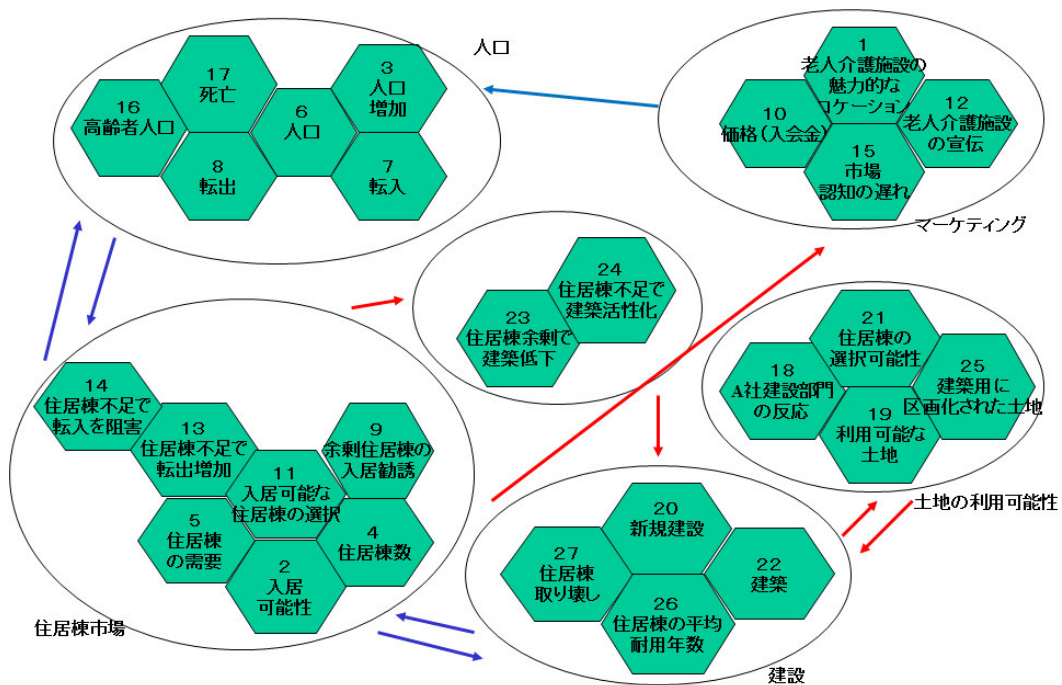


図5：クラスターの関係付け例

次に、こうしてカードをグルーピングしてできたクラスターを黒線で囲み、そのクラスターの性格を表すキーワードを付けます。どうしても適切なクラスター名が出てこない場合は名前がないままでも構いません。クラスター名はそのクラスターの性格を表現するものであれば何でもかまいません。図 4 に例を示しています。この作業は通常 10 分もかければ完成します。グルーピングができたなら、次の作業に移ります。次の作業へ移る前に、コンサルタントあるいはアシスタントは、クラスターの性格とクラスターで起きている問題や現象をメンバーの前で簡単に再確認して下さい。

最後に、矢印でクラスター間の関係付けを行います。図 5 に例を示しています。この関係付けの際に、もし可能であれば、正の関係にあるものは青で、負の関係にあるものは赤で矢印を付けることを推奨します。難しければとりあえず青で矢印を付けておいて下さい。また、必要であれば、矢印で示す関係が分かりやすい位置にクラスターの配置を変えて下さい。

関係付けは、強い関係だけにして、無視することができるような弱い関係は落として下さい。関係の強さが分からない場合は通常の関係の強さとみなして含めます。なお、正の関係とは、影響を与える側の増加や減少がそのまま影響を受ける側の増加や減少となる関係を言います。例えば、マーケティング活動が活発になれば人口が増えます。負の関係とは、影響を与える側の増加が影響を受ける側の減少になり、影響を与える側の減少が影響を受ける側の増加になるような関係です。例えば、市場需要が落ち込めば、マーケティング活動を活性化させようとしします。

必ずしも「すべてがすべてに結合される」ということではないことに注意して下さい。結合しないクラスターがあっても構いませんし、相互結合されるものがあっても構いません。これは次の作業でも同じです。

3) 主要な変数の確定と、時系列変動図による分析

クラスター相互の関係をもっと整理します。コンサルタントあるいはアシスタントは、クラスター間の関係をメンバーの前で再確認して下さい。そして、その関係はクラスター内のどのカードがもたらすのか議論を深めます。議論で、あまり重要ではないものやクラスター間の関連性に貢献していないカードはクラスターから外します。弱い関係しか持たない独立しているクラスターもドロップできるのであれば取り外します。こうしてすっきりさせたものの例が図 6 です。また、この議論で、クラスター内で大きな影響を持つカードも認識できます。2)の「問題の構造の分析」での作業での議論は、イベント・レベル、つまり、起きていることに関する議論が中心であったと思います。この 3)の作業では、少しずつイベントを生み出す構造を発見するように議論をガイドして下さい。次の 4)の作業ではさらに分析を進めてカードとカードの間の関係を追跡しますが、この 3)ではそこまでする必要はありません。むしろ、大きく、どのような問題が発生していて、どのようなクラ

スターとのどのような因果関係が見られるのかを分析することが目的で、細かい関係の分析はこの段階ではまだ不必要です。全体の動きのようなものや問題発生の大まかなメカニズムを把握するようにして下さい。「森を見て木を見ず、木を見て森を見ず」という諺がありますが、この3)では森(=重要な問題の把握)を見るのが目的です。

なお、議論は大いにすべきですが、一見もつともらしい理屈と一見もつともらしくない理屈の取扱には注意して下さい。一見もつともらしい理屈とは、何も考えないとそうだと納得してしまうような理論展開で、実は裏付けとなる論理が欠如して、思い込みで主張され、針小棒大に拡大されているものです。その通りだと思っても、一応、メカニズムや例に挙げられているものの普遍性をチェックして妥当性を確かめながら受け入れを決めていく必要がありますし、おかしいと思ったら、議論で事実関係を確かめてみましょう。逆に、一見矛盾と思えるような理屈でも、現場の経験や知恵が繁栄され、分析してみると論理的な議論もあります。このような発言を無碍に切り捨てることは危険です。

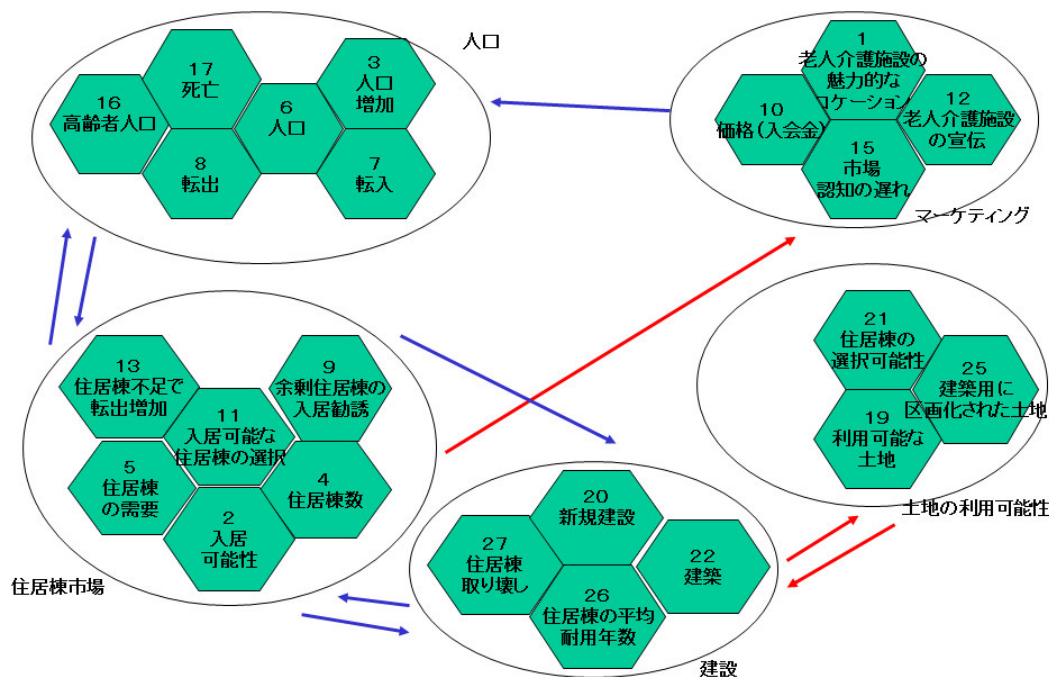


図6：グラスターの関係付け整理例

次に、グループ間の関係に強い影響を与えている重要なキーワードや注目したいものの挙動を確認しましょう。重要なキーワードは以下「因子」と呼びます。クラスターの中で重要な因子を選び、その時間的変化の傾向を簡単に記載してみてください。この時間的変化を表した図を時系列変動図 (time behavior chart) と呼びます。因子によっては、時間ではなく、影響を受ける別の因子で挙動が決まるものもあります。その場合は、影響を受ける因子との関係を挙動図に表して下さい。図7に例を示しています。この変動図を描くことで、

影響のパターンを知ることができます。もし、この変動図を描けない因子があれば、それは思っているほど重要で影響度が強いものではない可能性があります。ただ、ここでは厳密に追究する必要はなく、この分析方法を使って、重要な因子の挙動や性格を分析することが目的です。また、全ての因子を分析する必要はなく、重要で影響が大きいと考えられるものだけでいいでしょう

変化は大きく 7 つのパターンに分類できますので、挙動は概ねこの 7 つの挙動パターンのどれかに似たもの、あるいはその合成となるはずで、7 つのパターンは：

- ・直線的な増加
- ・直線的な減少（図 7 の左のようなパターン）
- ・指数的な増加
- ・指数的な減少
- ・S 字型飽和曲線（図 7 の右のようなパターン）
- ・パルス（凸型のようなパターン）
- ・振動

です。

因子は、この因子に影響するものとの関係の変化を見る場合と、時間変化を見る場合があります。前者の場合、因子に複数の因子が影響を及ぼす関係もありますが、その場合も 1 つずつ重要と考えられる因子から関係を見ていきます。例えば、A という因子に B、C、D の 3 つに因子が関係していると考えられる場合、A と B、A と C、A と D という関係で挙動図を描きます。もし、A と B の関係は強いが、A と C 及び A と D の関係は弱いもので、無視できる程度であれば、A と B の関係だけを取り上げます。

これまでの作業で、大まかに、どのような問題や現象が起きていて、大まかに何が発生原因であり、主要な因子は何であり、その因子はどのような性格のものかが説明できると思います。まとめてメンバーの前で簡単に再確認して下さい。コンサルタントによっては、この 3) の作業を飛ばし、4) の作業に行く人もいますが、筆者は 4) の作業に行く前に、問題や全体をおおまかに把握することが有効であると考えていますので、この 3) の作業を行っています。筆者は、時間的制約などがある場合、この作業で当たりを付け、重要な問題を引き起こしているグループだけに絞って以降分析作業を行うといったこともやっていますので、絞り込みや切り捨てという意味でも有効です。また、問題が複雑で大規模な場合、この作業によるグルーピングの後、小作業グループにそれぞれのクラスターを割り当て、さらに分析を進めさせるといったことも行っています。

ただ、議論でどうしても因子と因子の関係に及ぶことがあります。このような議論になった時には、この因子間の因果関係を定義するような議論を止める必要はありません。いずれにしろ、次の 4) で因子間の関係を分析する必要がありますし、問題の発生メカニズム

を理解する上でこの議論は有効です。

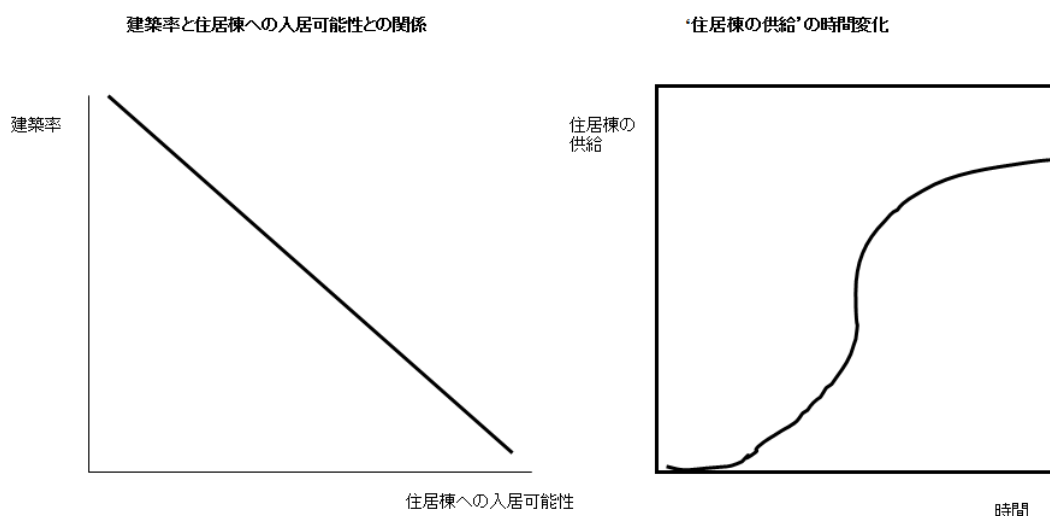


図7：主要因子の変化（時系列変動図）例

4) 変数間の因果関係の分析と、因果関係図（CLD）による分析

クラスター同士がリンクしているということは、あるクラスターに属する因子から他のクラスターに属する因子に因果的なリンクが存在するというを示しています。これまでの作業でもそのような関係が議論されてきたのではないのでしょうか。ここでは徹底的に因子間の因果関係を分析します。

クラスターの中から重要な影響を持つ因子を1つ取り上げ、別の壁に張り出します。次に、その因子に因果関係を持つ別の因子を選び、取り出し、先の因子の近くに張り出し、関係付けを行います。因果関係が正であれば青で矢印を記載し、負であれば赤で矢印を記載します。もしここで選んだ因子が、先の作業で挙動図を描いていない因子であれば、挙動図を簡単に描いてみて下さい。コンサルタントによっては、矢印の先に、正の関係の場合は「S」または「+」を記載し、負であれば、「O」あるいは「-」の記号を付ける人もいます。Sはsame direction（同方向）、Oはopposite direction（逆方向）の意味です。このやり方の方が分かりやすいのであれば、このやり方を採択しても構いません。

もし、因子の表現があいまいすぎる、あるいは包括的すぎる場合は、因子を再定義する、あるいは分割して下さい。因果関係を完成させる上で必要であれば新しい因子を追加して下さい。また、因子は変化を示す変数あるいは定数であることが望ましいので、表現や名称を変数あるいは定数であると明確になるように変更できれば変更して下さい。

なお、必ずしも「すべてがすべてに結合される」ということではないことに注意して下さい。結合しない因子があっても構いませんし、その因子は最初の壁に取り残されることとなりますが、取り残された因子があったとしても気にしないで下さい。

こうして完成したものの例が図 8 です。

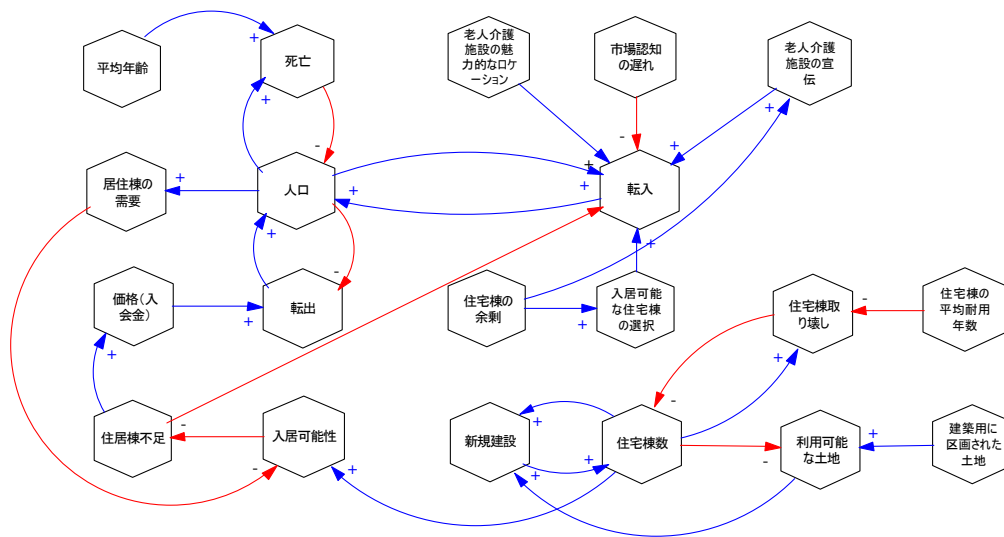


図 8 : 因果関係図例

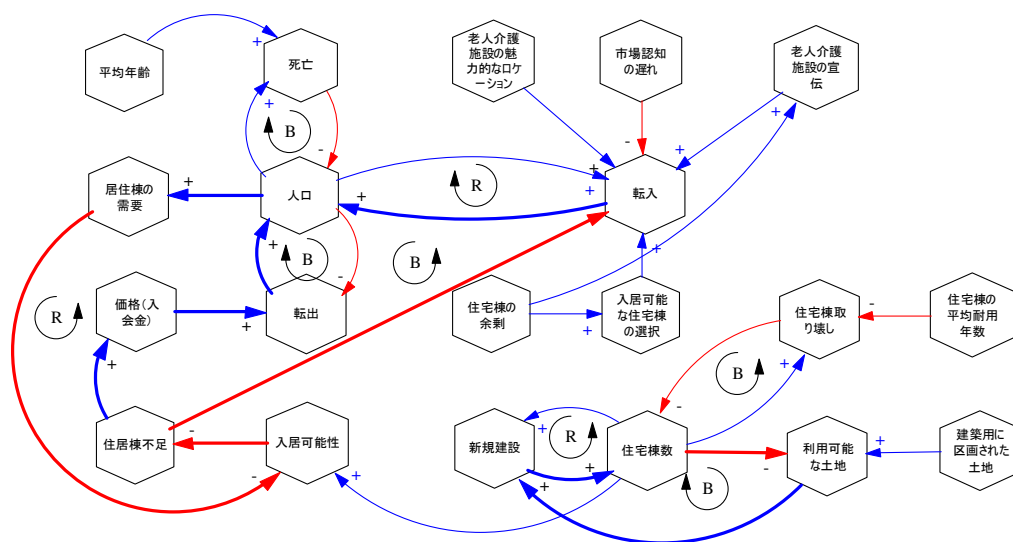


図 9 : CLD 例

次に、フィードバック・ループになっている因子関係を発見します。例えば、図 8 では、

人口→居住棟の需要→入居可能性→居住棟不足→価格→転出→人口という流れのフィードバック・ループが見られます。ここで、人口→居住棟の需要の関係は正ですが、居住棟の需要と入居可能性は負の関係です。ループ上に負の関係があり、その数が奇数の場合はフィードバック・ループは均衡する挙動を取りますのでそのループには「B」を記載します。負の関係が全く無いか、あっても偶数の場合は、何かの変化が増幅される挙動を取りますので、「R」を記載します。Bはbalanceの略で、均衡という意味です。Rはreinforceで増強を意味します。コンサルタントによっては「R」の代わりに「+」を、「B」の代わりに「-」を用いる者もいます。均衡とは、増加があれば減少させ、減少があれば増加させ、安定あるいは均衡させようとする振る舞いです。振動があれば、振動を収束させようとしています。増加とは逆に、増加があればさらに増加させ、減少があればさらに減少させるような振る舞いを言います。振動があれば振動は発散の方向に向かいます。

こうして記載したのが図9です。この図を使って、3)で分析した挙動図がうまく説明できるか再確認して下さい。この図と先の主要因子の挙動図を使って、何が原因で、あるいはどのようなメカニズムで問題や現象が発生しているかを説明できるのではないのでしょうか。例えば、このA社の老人介護施設ビジネスの売上が伸び悩んでいるとします。売上は「価格」で決まるとします。「価格」が含まれているフィードバック・ループを辿ってみましょう。住居棟の供給が順調であれば売上は下がることはないはずですが。それには入居者が満足して入居できる程度の住居棟余剰が必要で、転入と転出が適切なバランスに保たれていて、かつ順調に住居棟が建設される必要があることが分かります。さらに、この価格が含まれるフィードバック・ループは増強ループになっていますので、一旦需要と供給、あるいは転入と転出のバランスが崩れると売上は下がる一方、あるいは上がる一方になりかねない性格がありそうだということが示唆されます。

さらに、2)で議論したクラスターの性格や発生している問題、現象がフィードバック・ループの振る舞いで説明できるかどうか確認してみてください。例えば、「一生懸命宣伝しているのだが、なかなか売上に結びつかない」という問題があったとして、このフィードバック・ループの振る舞いで説明できるのでしょうか？一つの解釈として、宣伝が効果を発揮するまでに遅れがあること、「転入」が増え、「人口増加」、...と続くフィードバック・ループは均衡ループになっていて、売上増加に関係するフィードバック・ループで売上増加を図ろうとする動きが出ると、それを打ち消そうとする動きになるという説明も成り立ちます。

ただし、ここで例として述べたフィードバック・ループの振る舞いは正確には定量分析してみないと断定はできません。また、いくつか因子を抜かしてループを描いている可能性もあり、正のフィードバック・ループだと思っていたのが実は負のフィードバック・ループだったということもありうるので、おかしいと思ったら、再度フィードバック・ループに含まれる因子を見直してみてください。挙動図を使って因子の振る舞いを順にループ上で追跡し、挙動の説明がつけば妥当だと言えますが、説明ができなければいくつか因子を抜かしてループを描いている可能性があります。

これまでの作業で図 9 のようなフィードバック・ループを含むモデルが完成したはずで
す。これを因果関係図(CLD: Causal Loop Diagram)、あるいは定性モデルと呼んでいます。
また、完成した定性モデルを使った先のような分析を定性分析と呼んでいます。

ここまでの作業で、通常はかなり経営問題が分析できたこととなりますので、ここで分
析作業を打ち切ってもかまいません。これ以降の話は定量分析に関する話であり、そこ
まで必要でなければ定量分析に進む必要はありません。

(2) ステップ 2 : 定量モデル構築

これ以降の作業は Vensim PLE を使わないと進められません。なお、これまでの作業で作
成した定性モデルがそのまま定量モデルになるわけではありません。定性モデルには定量
化できない要素が含まれていることがあり、そのような要素は定量モデルに含められませ
ん。定量モデルには取り入れた要素やそれによってカバーされるモデル対象範囲に限界が
あるということを理解しておいて下さい。極端に言えば、定性モデルと定量モデルは別の
ものであり、定性モデルを定量的に解釈したものが定量モデルです。定性モデルの特徴を
念頭に独自に定量モデルを構築していきます。

5) ストック、フロー、関数、数式及び定数による変数の定義

定量モデルを構築するためには、因子をストックとフローに分ける必要があります。さ
らに、定数か変数か分ける必要があり、変数は数式や関数で定義できるかどうか検討する
必要があります。うまく説明することが難しいのですが、ストックとフローや定数、変数
はモデルを構築するに際しての因子の性格の定義で決まります。

まず、因子は定数か変数かに分かれます。定数は変化を考えなくともいい因子を言いま
す。例えば、死亡率をモデルの因子として使うとして、死亡率は 2.5%で変わらないと考
えればいいとします。従って、死亡率は定数になります。住宅棟の平均耐用年数も 50 年
で変わらないとして考えればいいとすればこれも定数です。こうして定義した定数以外
は全て変数になります。

変数はストックとフローに分けられます。ストックとは蓄積されるような性格の変数で
す。人口は転入によって増えていき蓄積されますのでストックになります。フローは直接
あるいは間接的にフローに影響を与える変数になります。変数のうちストック以外は全部
フローになります。ストックは積分で定義されます。SD 定量モデルを用いたシミュレー
ションでは、時間的な変化(動的変化)を分析しますので、モデルには最低 1 個のストック
を含む必要があります。

フローについては、関数あるいは数式、あるいはその組み合わせで定義する必要があり
ます。関数あるいは数式、あるいはその組み合わせで定義することが難しい場合は、テー
ブル関数で定義します。フローはストックに直接影響するものと間接的に影響するもの
に分けて下さい。

なお、この事例では例えば「死亡率」を定数に分類していますが、そう定義しただけです。モデルが違って、常に「死亡率」が定数であるという意味ではありません。

表 1：定数、変数、ストック、フローの例

定数			住宅棟の平均耐用年数、死亡率
変数	ストック		人口、住居棟数
	フロー	直接	転入、転出、死亡、新規建設、取り壊し
		間接	

6) 定量モデルの設計

定性モデルを参考に、しくみの実現方法を考えて定量的に規定し、定量モデルとして表現することを、定量モデルの設計と呼んでいます。

図 8 の定性モデルでは「人口」を中心とする 2 重のフィードバック・ループと、「住居棟数」を中心とする 1 重のフィードバック・ループが見られます。この 2 つの因子に影響を及ぼす、及び及ぼされる因子の数が多いことから何となく重要な因子であることが想像されるのではないかと思います。この 2 つの因子の性格を考えてみましょう。「人口」は「転入」によって蓄積される変数と解釈できますからストックになります。同じく、「住居棟数」も「新規建設」によって蓄積される変数と解釈できますからストックになります。

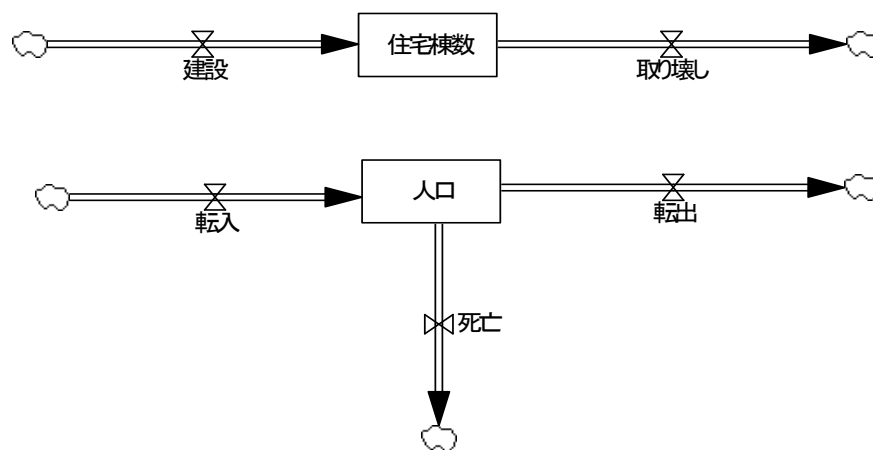


図 10：コアとなるストック・フローの記述

ストック「人口」に直接関係する因子としては、増加因子である「転入」と減少因子である「転出」及び「死亡」が挙げられます。もう一つのストックである「住居棟数」も、直接影響する因子は、増加因子である「新規建設」と減少因子である「住居棟取り壊し」があります。この 2 つのストックと直接関係するフローを中心にモデルを設計していきま

しょう。「人口」に「転入」→「人口」、「人口」に、「人口」→「転出」と「人口」→「死亡」の流れを付け加えてコアとなるストック・フローをデザインします。

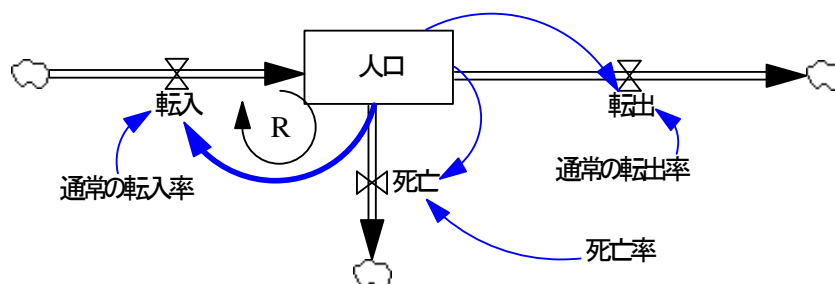


図 11：人口モジュールの記述

この 2 つのコアとなるストック・フローに、先に示したフィードバック・ループを表現できるように考慮して変数や定数を追加していきます。

例として、人口の部分在设计していきましょう。図 11 を参照して下さい。「死亡」は、「人口」に「死亡率」を乗算することで定義できます。

$$\text{「死亡」} = \text{「人口」} * \text{「死亡率」}$$

少しインチキくさいのですが、この数式から「人口」と「死亡」が反比例する、つまり「人口」が増えれば定義式から「死亡」が増え、「死亡」が増えれば「人口」が減るという負のフィードバック・ループが表現されます。

同じく、干渉がなければ：

$$\text{「転出」} = \text{「人口」} * \text{「通常の転出率」}$$

同じく、数式から「人口」と「転出」が反比例する、つまり「人口」が増えれば「転出」が増え、「転出」が増えれば「人口」が減るという負のフィードバック・ループのメカニズムが自動的にデザインされていますので、特に何もしなくとも、フィードバック・ループを含んだデザインになります。

$$\text{「転入」} = \text{「人口」} * \text{「通常の転入率」}$$

これで、「人口」→「転入」→「人口」の増強フィードバック・ループがこの数式で表現できます。

次に、人口→居住棟の需要→入居可能性→居住棟不足→転入→人口という、人口の入力に関係する均衡ループを見ましょう。これは、居住棟が余剰で、入居可能性があれば、宣伝がなされ居住棟余剰を無くすように入居者募集を行い、市場認知の遅れで余剰が埋まると解釈します。「居住棟の需要→入居可能性→居住棟不足」の部分「居住棟率」で置き換えられるとします。すると、「居住棟率」が市場に反応して転入を増加させると解釈できま

すので、

「転入」 = 「人口」 * (「通常の転入率」 + 「市場認知率」)

と定義できます。ただし、「市場認知率」は遅れを伴う市場認知による転入率の調整です。

「市場認知率」は市場によって反応する変数なので、「居住棟率」によって反応する市場を表現する「老人介護市場」という変数を想定します。

市場認知率=DELAY FIXED(老人介護市場, 市場認知の遅れ, 0)

老人介護市場=住居棟率を引数とするテーブル関数

テーブル関数は、住居棟の余剰がない場合は入居可能性が少ないのでゼロに近い値を、住居棟の余剰が大きい場合は入居可能性が高いので高い値を返すような成長曲線になります。

次に、人口→居住棟の需要→入居可能性→居住棟不足→価格→転出→人口という転出側のループをデザインしましょう。これは先ほどの説明から、人口→「住居棟率」→価格→転出→人口という流れに置き換わっています。「価格」はやはり市場によって反応する変数と解釈できますので、先ほどの「老人介護市場」という変数で代替します。従って：

「転出」 = 「人口」 * (「通常の転出率」 + 「老人介護市場」)

と定義できます。

住居棟のモジュールをデザインしましょう。まず、ストック「住宅の供給」を中心に、「新規建設」→「住宅の供給」→「住居棟取り壊し率」というコアとなる流れを設計します。(図10の上部) 取り壊し数は：

「取り壊し」 = 「住居棟数」 * 「取り壊し率」

で、これは説明不要でしょう。取り壊し率は住居棟の平均耐用年数から計算されます。

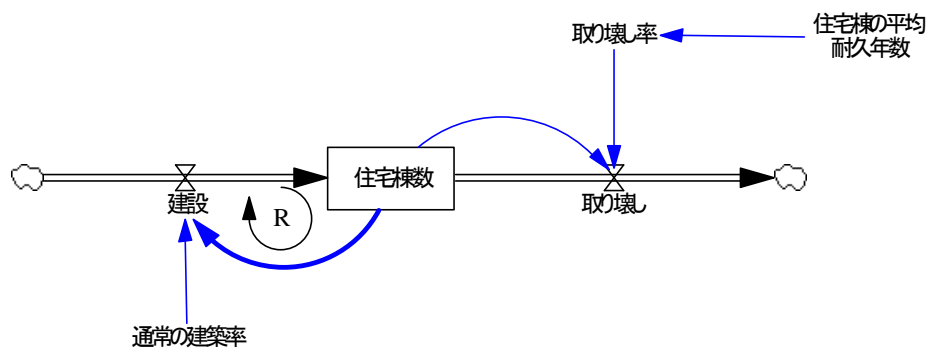


図12：住居棟モジュールの記述

住居棟数→利用可能な土地→建設→住居棟数というループをみましょう。これは、まず、住居棟建設が可能な土地の有無で建設されるかストップされるか決まると考えます。次に、通常建築率に加え、市場需要で通常よりもっと建設されるか、あるいは通常建築率

になるかであると解釈します。

「建設」 = 「住居棟数」 * (「通常の建築率」 + 「建設需要」)

ただし、「住居用土地占有」がある値以下になったら「建設」 = 0

「建設需要」 = DELAY FIXED(老人介護市場, 6, 0)

1年の認知遅れ+6ヶ月の建設期間

「住居用土地占有」 = 「住居棟用土地」 - 「すでに住居棟建設で占有された土地」

「住居棟用土地」 = 「総土地面積」 / 「1棟当たりの住居棟の面積」

「すでに住居棟建設で占有された土地」 = 「住居棟数」 * 「1棟当たりの住居棟の面積」

もし、この定量モデルが完成すれば、図13のようなものができます。なお、このモデルは1つの解釈であり、このモデルと同じものである必要はありません。くどいようですが、定性モデルをどう解釈して定量モデルに表すかは人によって違って当たり前です。(注4)

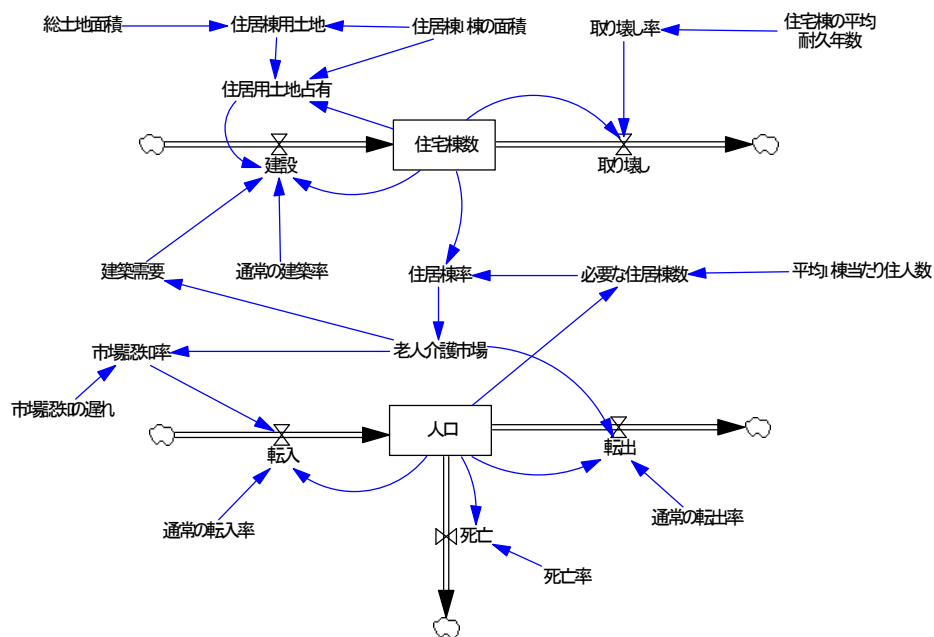


図13：定量モデル例

7) 定量モデルの構築

デザインした定量モデルを、目的である定量項目をシミュレーション可能で、結果が妥当なものにチューニングし、定量モデルを完成させる作業を定量モデルの構築と呼んでいます。

なお、定量モデルを構築するに際し、定数や初期値をどう設定するかが問題になります。ここでは、暫定的に：

(初期値)

人口=30 人

住居棟数=30 件

(定数、あるいは政策変数)

死亡率= 0.025

通常の建築率= 0.025

通常の転入率= 0.145

通常の転出率= 0.02

総土地面積= 1500 アール

住居棟 1 棟の面積= 1 アール

住宅棟の平均耐久年数= 50 年

市場認知の遅れ= 1 年

平均 1 棟当たり住人数= 2.5 人

と定義します。なお、定数は政策的に変更できます。例えば、広報のやり方を変えることで市場認知を 0.25 年に短縮できるかも知れません。

なお、妥当性チェックのやり方は「Vensim PLE 入門」に記載してありますので、そちらを参照して下さい。

(3) シミュレーション (と定量的な問題の分析)

8) 定量モデルを使ったシミュレーション実行

それでは、シミュレーションしてみましょう。まず、先の定数の定義のままシミュレーションします。これをベースラインと呼んでいます。このシミュレーション結果を基に、いろいろ条件を変化させて政策の効果を検討します。

今後 11 年間、つまり現在ある土地に住居棟を建設する余裕がある限り順調に人口と住居棟建設が進んでいきますが、土地に余裕がなくなってしまうと、取り壊して空いた土地に建設するしかなく、サチュレートします。ただ人口の変動があり、それに見合った建設変動が見られます。

5. ソリューション

(4) 代替案と代替モデル

ここでは、図 13 のモデルを基に、さまざまなソリューションを検討していきます。図 13 のモデルで概ね必要なことはカバーされていますが、例えば、売上が知りたい場合は暫定的に、転入=売上として下さい。経費は運営費を無視して、建設=経費として下さい。係数は適当に設定して下さい。極めて荒っぽく、かつ暫定的なので、必要であれば因子を追加して下さい。ただパターンはあまり変わらないはずです。このように、存在するものから傾向を知ることができる場合と、できない場合があります、できない場合はモデルを修正して下さい。

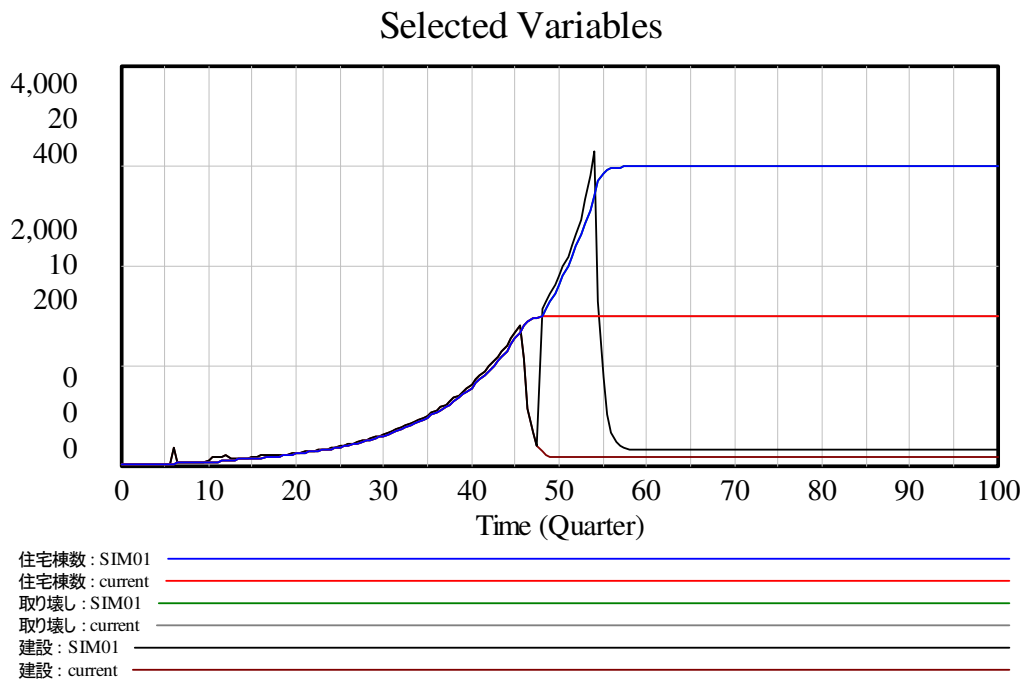


図 15 : シミュレーション (建設)

さて、売上が 11 年目でサチュレートするので、12 年目 (48 期目) にさらに同じ規模で隣接する土地に老人介護施設を開発したらどうなるでしょうか？

総土地面積= $1500 + \text{STEP}(1500, 48)$ と数式を変えます。

変更したものを Sim01 とすると住居棟数では図 15 のように変化します。14 年目ですぐサチュレートしてしまいます。

建設を見てみましょう。建設のピークは、最初は約 11 年かかって訪れますが、12 年目に実施する 2 回目の分譲では、住居棟需要を 2 年で賄ってしまいます。つまり、建設に関しては 2 回目の方が効率よく実施できることになります。

人口関係ですが、23 年目あたりから振動が見られます。これは認知誤差による振動です

ので、シミュレーション間隔を小さくすればよりスムーズな曲線になりますが、逆にシミュレーション間隔を荒くすると振動は大きくなります。ただ振動傾向はいくらシミュレーション間隔を小さくしても残ります。振動効果を少なくするためには、24年目に同じく投資を行い、居住棟建設を増やす方が、効果があります。

Selected Variables

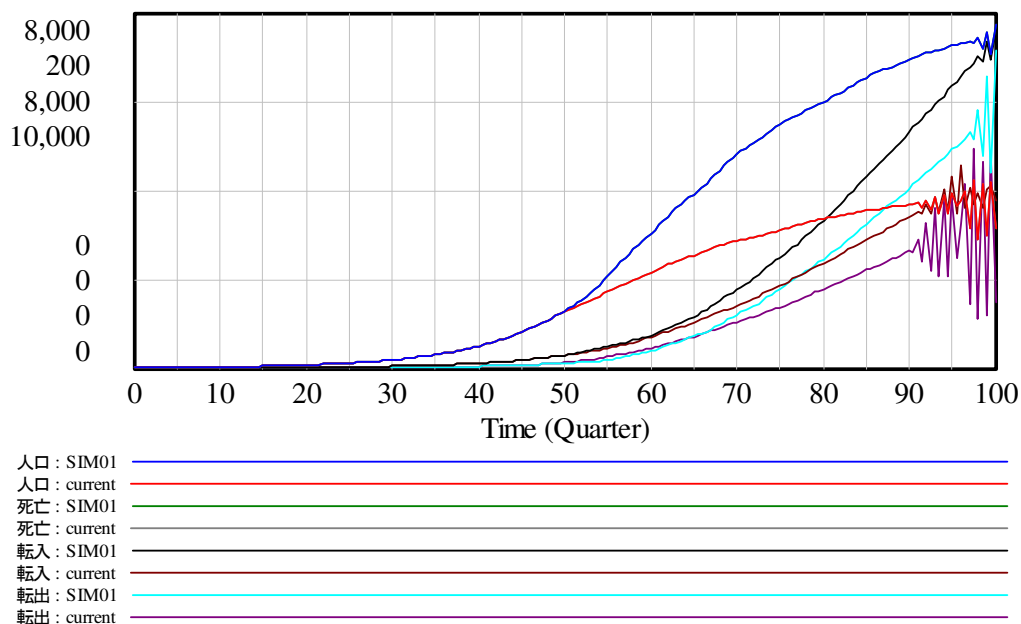


図 16 : シミュレーション (人口)

(5) 改善アドバイス

さて、あなたの A 社の老人介護施設ビジネスの分析結果はどうになりましたか？A 社の老人介護施設の事業には将来性があるのでしょうか？A 社がこの事業を継続していく上でどのような注意事項が考えられますか？

多分、いろんな経営改善のアドバイスが考えられ、定性モデルあるいは定量モデルを使ってアイデアを確かめられたと思います。それを効果の大きさや実施の容易さなどを勘案しながらまとめます。例えば、表 2 のような比較表にまとめて検討します。

表 2 : 代替案比較表例

	代替案名	期待効果	効果発現までの時間	必要な経営資源量	他との組み合わせ
1					
2					
3					

(6) 計画案策定

さまざまな代替案の中から選ばれた改善案を具体的な導入計画にします。導入計画の中で、どのような手順でだれがいつまでに何を実施するのかまとめます。

一般に計画サマリーと計画実施に用いるモニタリング・シートの2つは最低限作成します。モニタリング・シートはアクション・プランと呼ぶ人もいます。他に、顧客によって、報告書形式の改善計画書やプレゼンテーション用資料を作成します。

表3：改善計画サマリー例

	達成目標	注釈
目的：		
成果：		
成果1：		
成果2：		
成果3：		
活動：		
活動1-1：		
活動1-2：		
必要な経営資源：		
予算：		
人員：		

表4：モニタリング・シート例

	活動名	担当者	実施期間	達成目標	予算	機材	注釈
1	活動1-1						
2	活動1-2						
3	活動1-3						

研修ご苦労様でした。ご健闘とご活躍を祈っています。

6. 注釈

- 1) この Vensim PLE シリーズでは、初級、中級、上級とレベルが上がっていくという意味で、「応用」という言葉を使っているわけではなく、文字通り、「経営問題に対する応用」という意味で使っています。なお、ここでは老人介護施設の例を取り上げていますが、必ず例に挙げているような因子が抽出され、例のようなフィードバック・ループが描かれ、例に挙げたような結論になるというわけではありません。あくまでも1つの例や解釈として示しているもので、違った因子が抽出され、違った解釈になっても構いません。
- 2) 関係者を集めて議論しながら SD モデルを構築し、シミュレーションを行いながら問題を解決する手法を、グループ・モデル構築手法と呼んでいます。グループ・モデル構築手法については、もしお持ちでしたら筆者が行った SD 学会日本支部での月例研究会配布資料も参照して下さい。なお、IT 技術の発達や、Vensim PLE では、因子の形を選択できるので、因子をヘキサゴン（6角形）にすることで、前方ス

クリーンにプロジェクターで画面を映し出しながらグループ・モデル構築を進めることができます。近年ではむしろこちらのやり方の方が一般的になっているようです。

- 3) 依頼者がすでに経営問題があると考えている場合もあります。その場合はそこからスタートし、さらに、それ以外にも問題があるかどうか顧客に尋ねていきます。
- 4) 人口及び住居棟数をコホートで表現すべきであるという意見もあります。もっともな意見ですが、この表現でも十分であろうと思います。

なお、図 13 の等式は以下の通りです。解説では年で示している所は単位を期(3ヶ月)に変えています。:

- (01) FINAL TIME = 100
- (02) INITIAL TIME = 0
- (03)
- (04) TIME STEP = 0.25
- (05) 人口 = INTEG (転入-死亡-転出, 30)
- (06) 住宅棟の平均耐久年数 = 200
- (07) 住宅棟数 = INTEG (建設-取り壊し, 10)
- (08) 住居棟 1 棟の面積 = 1
- (09) 住居棟率 = 必要な住居棟数/住宅棟数
- (10) 住居棟用土地 = 総土地面積/住居棟 1 棟の面積
- (11) 住居用土地占有 = 住居棟用土地-(住宅棟数*住居棟 1 棟の面積)
- (12) 取り壊し = 住宅棟数*取り壊し率
- (13) 取り壊し率 = 1/住宅棟の平均耐久年数
- (14) 市場認知の遅れ = 4
- (15) 市場認知率 = DELAY FIXED(老人介護市場, 市場認知の遅れ, 0)
- (16) 平均 1 棟当たり住人数 = 2.5
- (17) 建築需要 = DELAY FIXED(老人介護市場, 6, 0)
- (18) 建設 = IF THEN ELSE(住居用土地占有 < 5, 0, IF THEN ELSE(住居用土地占有 < (住宅棟数*(通常の建築率+建築需要)), 住居用土地占有, 住宅棟数*(通常の建築率+建築需要)))
- (19) 必要な住居棟数 = 人口/平均 1 棟当たり住人数
- (20) 死亡 = 人口*死亡率
- (21) 死亡率 = 0.025
- (22) 総土地面積 = 1500
- (23) 老人介護市場 = WITH LOOKUP (住居棟率, ((0,0)-(2,2)),
(0,0),(0.231579,0.0704846),(0.435088,0.14978),(0.512281,0.202643),(0.603509,0.255507),(0.687719,0.334802),(0.74386,0.396476),(0.814035,0.511013),(0.884211,0.60793),(0.947368,0.748899),(0.982456,0.863436),(1,0.995595),(1.03158,1.12775),(1.06667,1.27753),(1.13684,1.45374),(1.24211,1.62115),(1.29825,1.68282),(1.41754,1.79736),(1.52982,1.86784),(1.74035,1.93833),(1.96491,1.98238)))
- (24) 転入 = 人口*(通常の転入率+市場認知率)

(25) 転出= 人口*(通常の転出率+老人介護市場)

(26) 通常の建築率= 0.025

(27) 通常の転入率= 0.145

(28) 通常の転出率= 0.02

7. 参考文献

David F. Andersen, George P. Richardson and Jac A.M. Vennix, “Group model building: adding more science to the craft”, System Dynamics Review Vol. 13 No. 2 p187-201 System Dynamics Review Vol. 13 No. 2 はグループ・モデル・ビルディングの特集号となっている。この論文はそのうちの1 偏である。

Jac A.M. Vennix, “Group Model-Building”

Sarita Chawla and John Renesch (ed), “Learning Organization”, P228-241, Productivity Press