

博士論文

画像認識を用いた地形形状計測システムと  
画像検索可能化システムの開発  
及び顧客開発モデルによる両システムの事業化



2015年2月

光産業創成大学院大学  
光産業創成研究科

花嶋 正昭





# 画像認識を用いた地形形状計測システムと画像検索可能化システムの開発 及び顧客開発モデルによる両システムの事業化

## 要旨

本論文は、さまざまな画像の中の特徴点を抽出するアルゴリズム開発に基づく「画像認識技術」を利用した二つのシステムの開発と、設立した株式会社アモーガイメージングでの顧客開発モデルを用いたそれらの事業化について述べている。今回開発したシステムの新規性は、以下の二点である。一つは、砂浜のような自然を多数枚撮影した画像から特徴点を抽出し、各画像間の対応点を検知することで、3次元マッピングを構築するアルゴリズムを作成し、ソフトウェアの実装に成功した点である。もう一つは、画像認識技術とテキストマイニング処理を融合させ、デジタル画像の特徴点をその画像の「検索タグ」として付加し、その特徴を表す「キーワード」で検索可能にした点である。この検索法により、ネットや個人の有する膨大なデジタル画像や写真を自動的に分析し、必要とする画像や写真をキーワードで簡単に抽出できるという世界初のサービスを提供可能とした。

本論文は、全9章から構成されている。

第1章では、序論として本論文の背景および目的を述べている。本論文の背景として、まず、筆者が遠州灘に面する砂浜の気象インパクトによる形状の変動をモニタリングするプロジェクト（総務省主導）に参加したことを契機として、三次元地形形状ソフトウェアによる自然地形計測の重要性を認知し、そのソフトウェアの高度なシステム化が必要と判断した過程を示した。これが本研究の第一の目的である。

ただし、このようなシステム事業だけでは画像認識を基とした産業の飛躍的な発展が望めるような知識集約型企業になることは容易でない。本論文が目指すのは、画像認識技術を土台として研究開発を行い、このコア技術としての画像認識技術の価値を最大限に活用できるような新産業企業を構築することである。そこで、様々な検討の結果、画像の意味認識による画像の検索可能化システムの開発と顧客開発モデルによる事業化を第二の目的とし、これについても述べている。

第2章では、画像認識技術の現状と画像認識照合のアルゴリズムについて述べている。ここでの画像認識技術とは、画像を解析し、そこに映っている物体や特徴を認識（特徴点抽出）し、検出するアルゴリズムを構築し、これをソフトウェアとして実装することである。画像認識技術は現代の高度情報化社会を支えるコンピュータの目と頭脳であり、今後応用分野が広がり、画像認識技術を用いた事業は非常に大きな拡大の可能性があることが期待されている。3次元の形状計測を行うために必要な画像認識技術で重要なのは、特徴点抽出のためのアルゴリズムである。画像認識のアルゴリズムには様々な種類があって目的により使い分ける必要があり、本論文はその決定の過程を示している。

第3章では、画像認識技術を事業化するために用いる顧客開発モデルの概要について述べている。顧客開発モデルとは、事業化の失敗は製品が売れないことに起因することが多いことから、製品の研究開発の完成を待たずに小さな予備実験を繰り返し、結果を開示して顧客を“研究開発”して、売れないリスクを低減させるというものである。本論文において顧客開発モデルを用いたのは、起業成功のパターンをモデル化した事業化手法として現段階で世界の最先端に行くプログラムと考えられるからである。

第4章では、三次元地形形状ソフトウェアの開発と検証結果について述べている。自然環境下の砂浜では、取得した画像の輝度が滑らかに変化し、3次元位置を特定する特徴点がほとんどないため、従来

は特徴点の抽出を目視で行う必要があり、自動化が困難であった。本論文で対象とする三次元地形形状計測システムによる特徴点抽出の自動化には、

- a) ならかな砂浜や礫や小石のエッジ画像の輝度変化を特徴として抽出すること。
- b) 特徴点は少なくとも 1000 点以上取得すること。
- c) 特徴点は 10 cm 間隔で画像全体にメッシュ状に一様に分布していること。

の 3 つの画像認識の条件を満たす必要があることを明らかにした。これらの課題を解決するアルゴリズムとして、4 次の離散 **wavelet** 変換にて砂浜の画像の特徴点の取得を行うことにより、自然地形の三次元形状の計測を自動的に行うことができるソフトウェアを開発したことを示している。実際に海岸において、気象インパクト（台風）前後の画像を取得し、開発したソフトウェアにより地形計測を行ったうえで、現地踏査により検証を行い、養浜砂が運び込まれていることを確認した。

第 5 章では、本ソフトウェアの開発により可能となった地形形状計測システムの事業評価と顧客開発について述べている。検討の結果、全国の市町村では自然災害に関して地形計測を行うことが法律で義務づけられていること、人が現地に行けないような危険な場所の計測にニーズがあることがわかり、株式会社アモーガイメージングは、海洋土木調査会社の協力を得て本システムを事業化・販売することとし、その過程と経過を示した。

第 6 章では、画像の意味認識による画像の検索可能化システムの開発について述べている。一般的に撮影される画像の数は膨大であり、人間がタグを目視で付与することは効率的ではない。そこで、三次元地形形状ソフトウェアの開発でも使用した **Wavelet** 変換を応用し、写真などの画像の特徴点を利用する自動タグ付けシステムを開発し、画像ファイルの検索効率を飛躍的に高めた。画像にもとからつけられている撮影日時などのテキストタグとの融合を行い、さらに高速に画像の検索を行えるようにシステム化した。

第 7 章では、顧客開発モデルを用いて画像の検索可能化システムの事業化を検討した。その結果、写真撮影を行い、ネットワークを利用して画像の再利用をする顧客に対し、写真をキーワードで簡単に抽出できるというサービスを提供すれば、ビジネスモデルが成立することが判明した。顧客市場の規模は世界で約 18 億人、成長性は年間 15% 程見込むことができると推定している。

第 8 章では、二つの事業の実践状況と、当該事業を軌道に乗せるためのロードマップについて述べ、第 9 章にて結論を述べている。

# Development of geographical shape measurement system and searchable image data extraction system using image recognition technologies and business development of the systems based on a customer development model analysis.

## **Abstract**

This thesis describes business developments for two systems that use image recognition technologies based on algorithms that extract image feature points from various image data and the commercialization of the systems by a start-up company called Amoga Imaging, Inc. The novelty of the systems developed is as follows:

1. Successful software implementation of algorithms that construct three-dimensional mapping by extracting image feature points from a large number of images of sand dunes and detecting corresponding feature points in the images.
2. Successful use of a method that adds meta-data to a digital image to aid detection of that digital image. The meta-data is added as a “Retrieval Tag”, through the “Key Words” that shows the characteristics of the image. This method made it possible to provide the world’s first service capable of automatically analyzing massive libraries of digital images and photos on the internet and individual computers to easily extract relevant images and photos.

This thesis is composed of nine chapters.

Chapter 1 describes the background and goals of this thesis, including the author’s realization—while working on a project that monitors changes in the structure of natural sand beaches at Enshu-nada, conducted by the Ministry of Internal Affairs and Communications—of the importance and potential of natural terrain measurement using three-dimensional geological configuration software. The development of high-level software to measure natural terrain is the first objective of this research. However, with this narrow focus, the author recognized that it would not be easy for the company to make rapid progress in the industry. The author envisaged a corporation that capitalized on image recognition as its core technology and remained at the cutting edge through constant research and development. Another software development would be needed to support the commercialization of the company. After a variety of investigations, the author set as a second objective the development of an image data extraction system using image recognition technologies. Business development of both systems by using a customer development model analysis is also a key goal.

Chapter 2 describes the state of image recognition technologies and compares existing image recognition algorithms. Image recognition technology in this thesis refers to the technology that analyzes a digital image, constructs the algorithm that detects and recognizes objects and features of the digital image, and implements it as software. Image recognition technologies are the eyes and brains of computers that support the highly networked information society. It is expected that the application of image recognition technology will expand, and the businesses succeeding image recognition technology have the potential for great expansion. For the image recognition technology

necessary for three-dimensional structure measurement, the algorithm to extract feature points that represent the image is important. There are a variety of image recognition algorithms for different purposes, and this thesis explains the process of deciding on an algorithm.

Chapter 3 outlines the customer development model for the business development of this image recognition technology. The customer development model relies on research and development of the customer before completion of research and development of the product, in order to reduce the risk of not selling the product. The customer development model is used in this thesis because it is regarded as the world's cutting-edge program for business development.

Chapter 4 describes the development of the three-dimensional geographical structure software and the result of its verification. Image feature points had to be extracted manually with the naked eye because brightness in sand beach images under natural environmental conditions varies smoothly, and there are few feature points to specify three-dimensional locations. As a result, it was difficult to automatically extract feature points to determine three-dimensional structures from the image data. This thesis clearly describes that in order to extract feature points automatically using the three-dimensional geographical structure measurement system, it is necessary for the following three conditions to be satisfied:

- a) Gentle brightness variations in sand and edges of debris or small stones should be extracted as feature points.
- b) At least 1000 feature points should be extracted for the reconstruction.
- c) Feature points should be extracted every ten centimeters of the image area thoroughly in a mesh form.

The software developed is able to automatically measure three-dimensional structures and extract feature points of sand beach images by taking the fourth discrete wavelet transformation algorithm. The author obtained digital images before and after the influence of a weather condition (typhoon), measured geographical structures by the software developed at the sand beach, tested the result through a field survey, and confirmed that beach nourishment sand was carried in.

Chapter 5 describes the business evaluation and the customer development for the geographical shape measurement system enabled by the developed software. The customer development investigation revealed that structure measurement is required by law in order to respond to natural disasters in cities, towns, and villages all over the Japan. Therefore, there is significant need for geological structure measurement in dangerous places where people cannot conduct detailed analysis. Hence, Amoga Imaging, Inc. decided to commercialize this system and sell it in cooperation with a marine engineering research company. This chapter describes the progress and the process of the commercialization.

Chapter 6 describes the development of the searchable image data extraction system using image recognition technologies. In general, the number of images taken is huge; it is not efficient for a person to write a tag for each image. The author applied the wavelet transformation used for the development of the three-dimensional geographic structure software, developed an automatic tagging system using image feature points, and dramatically enhanced the efficiency of finding

digital image files. The author united an image with the auto recognized text tag, such as photograph meta-data that were originally attached to the digital image, and systemized this process in order to rapidly find a digital image.

Chapter 7 describes the business development of the image data extraction system using the customer development model. It was found that a business model would be established if Amoga Imaging, Inc. could provide a service that would enable customers to extract picture/image data easily using a keyword. Analysis showed that around 1.8 billion people in the world would use this service, and its growth potential is expected to be about 15% per year.

Chapter 8 describes the progress of the two streams of the business and the roadmap to success. Chapter 9 is the conclusion of this thesis.





# 目次

第1章	序論	1
1.1	株式会社アモーガイメーシングの目指す知識集約型ソフトウェア企業	1
1.2	問題の発見と提起	2
1.3	研究の目的	2
1.4	論文の構成	3
第2章	画像認識技術の現状と課題	4
2.1	画像認識技術とは	4
2.2	本論文における画像認識	6
2.3	三次元計測と画像意味認識のための画像認識アルゴリズム	6
2.4	特徴点抽出のアルゴリズム	7
2.4.1	特徴点の定義	7
2.4.2	特徴点抽出の動向とアルゴリズム	7
2.5	まとめ	10
第3章	顧客開発モデルによる事業化	11
3.1	はじめに	11
3.2	顧客開発モデルによる顧客の研究開発	11
3.3	ビジネスモデルキャンバスとニーズの発生メカニズム	13
3.3.1	ビジネスモデルキャンバスの先行研究のレビュー	13
3.3.2	ビジネスモデルキャンバスによる仮説の構築	14
3.3.3	バリュー・プロポジションの作成	16
3.3.4	ターゲット市場のスクーラビリティの確認	18
3.4	顧客ニーズを満たす必要最低限の製品によるニーズの検証	20
3.5	バリュー・プロポジション・ステートメントの検証	21
3.6	顧客開発モデルによる起業実践	22
第4章	地形形状計測技術の開発と検証	23
4.1	はじめに	23

4. 2	地形形状計測のための砂浜画像からの特徴抽出に最適なアルゴリズム	24
4. 3	Wavelet 特徴による特徴抽出	28
4. 4	砂浜における実際の計測例	30
4. 4. 1	礫部画像からの三次元再構成事例	30
4. 4. 2	植生部の画像からの三次元再構成事例	32
4. 4. 3	風紋画像からの三次元再構成事例	34
4. 4. 4	特徴点の追加取得事例	36
4. 5	地形形状計測のための特徴点抽出のまとめ	37
4. 6	地形形状計測技術の背景	38
4. 7	地形形状の計測	39
4. 7. 1	地形形状計測システムの概要	39
4. 7. 2	地形形状計測システムの検証(養浜効果の検証)	42
4. 8	まとめ	51
第5章	地形形状計測システムの事業評価と顧客開発	52
5. 1	はじめに	52
5. 1. 1	地理空間情報技術について	52
5. 1. 2	三次元地形形状計測システムの災害対応ロボットへの用途の可能性	53
5. 2	製品のコンセプトと仕様	54
5. 3	BMO法による事業評価	58
5. 3. 1	BMO法に関する先行研究の検討とその実績	58
5. 3. 2	BMO法の概要	58
5. 3. 3	BMO法の適用のための分析	59
5. 3. 4	BMO法への事例の適用	63
5. 3. 5	事業度の評価	66
5. 4	公共セクターでの防災セグメントへ向けた土砂計測システムのマーケティング	68
5. 4. 1	地形計測システムの仕様変更箇所	68
5. 4. 2	本システムの販売対象となる計測需要など	68

5. 4. 3	土砂災害防止法に関連した、地形形状計測事業の可能性	69
5. 5	土砂災害防止法に関連した地形計測事業の開発	72
5. 6	まとめ	74
第6章	画像意味認識による画像の検索可能化技術の開発	75
6. 1	背景と目的	75
6. 2	類似画像検索	76
6. 2. 1	類似画像検索のアルゴリズム	76
6. 2. 2	類似画像検索のアルゴリズムの性能評価	78
6. 3	モデル辞書の作成とテキストタグの付与	84
6. 4	まとめ	86
第7章	画像の検索可能化技術への顧客開発モデルの適用	87
7. 1	インテリジェント写真産業と画像の検索可能化事業	87
7. 1. 1	写真の最先端産業であるインテリジェント写真	87
7. 1. 2	インテリジェント写真の実際	88
7. 1. 3	インテリジェント写真産業と当社の方向性	89
7. 2	画像の検索可能化技術のバリュー・プロポジション	90
7. 3	画像の検索可能化技術のMVP	91
7. 4	画像の検索可能化技術のターゲット市場	94
7. 5	画像の検索可能化技術を利用したビジネスモデル仮説	97
7. 6	顧客インタビューの集約とニーズの再検証	99
7. 7	ビジネスモデルの変更	100
7. 8	画像の検索化事業のマーケティング分析	102
7. 8. 1	環境分析	102
7. 8. 2	3C分析	103
7. 8. 3	顧客のセグメンテーション、ターゲティング、とポジショニング	103
7. 8. 4	マーケティング施策	103
7. 9	まとめ	105

第8章 当社の事業の実践状況と軌道に載せるためのロードマップ.....	107
8. 1 実践状況.....	107
8. 1. 1 地形形状計測システム関連.....	107
8. 1. 2 画像の意味認識による検索可能化システム関連.....	107
8. 2 当社の中期事業計画.....	110
8. 3 成長のための事業組織（現状と将来）.....	111
第9章 結論.....	114
謝辞.....	116
参考文献.....	117
業績目録 原著論文 知的財産 受賞等.....	121

## 第1章 序論

### 1. 1 株式会社アモーガイメージングの目指す知識集約型ソフトウェア企業

筆者は、将来、光量子コンピュータによる「考えるコンピュータ」を創ることを目指し、知識集約型企業を目指した株式会社アモーガイメージングを設立し、博士研究の一環として事業化実践を行っている。

ここで目指している知識集約型企業とは、日本のコンピュータ産業で主流になっている作業工数から算出される人月方式の労働集約型企業とは異なり、自社の有する知識、技術等をベースとして付加価値のレバレッジを何倍か効かせることができる企業である。すなわち、知識集約型企業とは、知的労働や研究開発によって会社としての知識や技術力を高めることが収益の源泉となっている企業である。投資ファンド、コンサルティング（ファーム）、ファブレスメーカー、製薬会社等が典型的な例である。このような企業においては、一人当たりの資本投下額はさほど大きくないが、成功している企業では一人当たりの収益力はかなり高いものである。知識集約型企業とは、端的に言えば、知識を「商品化」することだと考える。つまり、ひとつの知識パッケージで、複数の相手から売上を上げることができるかが重要であり、そのためには世の中に先行する技術の開発が必要だと考える。

1971年、マイクロコンピュータが発売され、急速に普及していった。浜松ホトニクスは、1977年(昭和52年)には、世界初のコンピュータ接続用ビジコンカメラ C1000 (図1-1) を発売し、いち早くコンピュータ接続用テレビカメラという新境地を切り開いた[1]。コンピュータにより複雑な画像処理も可能となり、各分野で応用が広がっていった。画像情報がデジタルデータになって以来、約30年以上経っているが、その間に、画像情報はコンピュータやネットワーク通信網において柔軟にかつ統一的に扱えるようになった。

コンピュータ上でのデジタル画像の扱いとしては、

- 1) 画像を撮ること (撮像デバイスは、デジタルカメラからスマートフォンへ、高解像度、高感度へ)、
- 2) 画像を見ること (パソコンからタブレットへ)、
- 3) 画像を作ること (パソコンで加工)、
- 4) 画像を送ること (画像圧縮符号化し伝送、より効率化へ)、
- 5) 画像を保存すること (パソコンからクラウドストレージへ)、
- 6) 画像を処理すること (パソコンで見やすく処理、監視検出、自動検出)、
- 7) 画像で解析すること (コンピュータビジョン、三次元計測)、
- 8) 画像を認識すること (パターン認識、文字認識、顔認識、機械学習)、
- 9) 画像を理解すること (イメージ・アノテーション、セマンテックギャップの解消)

といったように、処理も順次高度化し、用途が拡がり、その産業も発展してきている。近年のコンピュータの急速な発展や高速化により、これを用いたインテリジェントな画像情報処理を用いた応用が急速な広がりを持つようになってきており、人間が変わって、コンピュータによる画像認識や理解までもが、研究の対象になりつつある。

さらに、携帯電話、スマートフォンなどによって、現在では、一人一人が常時カメラを持ち、その生活の一部をメモのように切り取り撮影した写真をライフログ的に持ち歩くようになった。スマートフォンのカメラ画像も高解像度化が進んでおり、これを画像解析に用いることが出来るようになってきている、例えば、リアルタイムで三次元計測技術を行いCG(コンピュータグラフィックス)と映像を合成するAR(拡張現実感)アプリまでが可能になっている、もちろん、三次元計測も画像の高解像度化により高精度

化が、可能になってきている。

このような背景の中、株式会社アモーガイメージングでは、画像認識技術をコア技術として、自然環境を認識する技術と人間社会のコミュニケーションのための画像と言語の融合技術として、以下の 2 つの技術の研究開発と事業化を行っている。

一つは、画像認識を応用した三次元計測技術の研究開発と事業化、もう一つは、画像認識とテキストマイニングの融合による画像意味認識技術を用いた検索可能化技術の研究開発と事業化を進めている。

目標とする「考えるコンピュータ」を実現するには、さらなる画像認識技術の成熟が肝要であり、そのために画像認識技術の研究開発を起業・事業化という手段を用いている。



図 1-1 C1000 コンピュータ接続用テレビカメラ

## 1. 2 問題の発見と提起

本研究を開始する動機となった遠州灘中田島砂丘が、200メートルも海岸が後退し社会問題化し、その対策として、総務省により遠州灘プロジェクト（先端技術を用いた動的土砂管理と沿岸防災のためのプロジェクト）が採択され、筆者が所属する浜松ホトニクス株式会社も参加することになった。（4. 1 節で詳述）。

この画像認識を応用した三次元計測技術による地形形状計測システムにおける技術的問題は、評価のため購入した他社製の形状計測ソフトウェアが砂丘の画像のような自然地形の画像から自動で地形を再現できる画像処理能力を有しておらず、ステレオ画像を撮影し、目視により基準画像の特徴点を取得し、さらに他画像の対応点をも目視で取得することとなって、作業時間が掛かり効率的ではないという問題がある。

さらに、事業化時の問題は、基本的にはアカデミックセクターにおいて客先の地形計測のソリューションを提供して研究成果を上げてもらうビジネスしか考えられず、事業の拡張性があまりないという問題がある。ただし、製品が出来上がった時点で投資が終了しており、基本的には一本でも販売できれば黒字になる。したがって、販売先を調査してプロモーションを行っていくこととなる。これは、いわゆる通常のマーケティングプロセスを行うことと同義であるが、顧客ニーズの検証が必要である。

一方、画像意味認識技術を用いた検索可能化については、開発投資は終わっておらず、顧客開発モデルという手法を用いて顧客を研究開発し、顧客のニーズをつかみ、無駄のない事業化を目指す作業を行う。これには、事業化を目指した類似画像検索技術とテキストマイニングを応用した画像の意味認識を行って、画像から検索用タグを自動生成する。これを用いたインテリジェント写真といわれる事業セグメント[2]に新しい画像検索の価値を提供しようと計画している。

## 1. 3 研究の目的

画像認識技術を応用した地形画像の特徴点を自動で抽出し、三次元地形形状を効率的に計測するソフトウェアの開発と、その応用として砂丘や海岸線での地形形状計測システムの開発、そして、それにより

蓄積されたコア技術をベースとして新たな顧客セグメントを発見し、本技術を応用したシステムをいかに販売していくかという課題を解決することが目的の一つである。

もう一つは、画像認識技術を用いた大量の画像からの類似画像検索技術とテキストマイニングを応用した画像の意味認識技術の開発、それを応用した画像の検索可能化技術の事業化である。これには、顧客開発モデルを用いることにより、技術開発と並行してビジネスモデルの仮説を構築し、顧客インタビューにより仮説を検証し、画像の検索可能化技術の事業化への道筋を明確化することである。

## 1. 4 論文の構成

第 2 章では、本論文の中核技術である画像認識の現状と課題について述べる。画像認識は画像を用いた様々な応用に使用できる技術であり、画像を用いた事業化は、今後、非常に重要になってくると考えられる。また、この画像認識照合のアルゴリズムの動向について述べる。

第 3 章では、当社のコア技術を事業化するために用いる顧客開発モデルの概要を述べる。顧客開発モデルによる起業実践方法やビジネスモデルキャンバスを利用した仮説構築の方法、インタビューで使用する MVP（必要最低限のプロダクト）の作成方法、方針転換の方法等について説明する。

第 4 章では、三次元地形形状計測のための部分画像認識のための離散 Wavelet 特徴による特徴抽出と正規化相互相関によるテンプレートマッチング照合技術の概要を述べ、実際に良好な結果が得られていることを示す。また、養浜効果の検証のために使用した三次元地形形状計測ソフトウェアと海岸線での地形形状計測システムについて説明する。また、養浜公共事業で土砂を流し込んでいる浜松篠原海岸における台風による気象インパクト前後における海岸の計測事例について述べる。

第 5 章では、地形形状計測システムの顧客開発モデルによる起業実践と事業化について説明している。本システムは、離れた場所から地形や土砂量の計測を非接触で行える。顧客開発モデルによるインタビュー等の結果、多少の仕様変更をすれば、土砂の地形形状計測で使って貰えそうな感触が得られてきたため、事業化へ向けた検討内容を説明する。

第 6 章では、画像の検索可能化技術のソフトウェアの開発について説明する。また、画像の特徴点抽出の応用による類似画像検索技術の実際についてと、テキストマイニングによるテキストからのタグワードの自動生成について記述する。

第 7 章では、画像の意味認識を用いた画像の検索可能化技術の事業化のため、顧客開発モデルを利用した詳細を述べる。

第 8 章では、当社の事業化への実践状況を説明し、事業を軌道に乗せるまでの事業ロードマップを示す。また、当社の中期事業計画ならびに現在と数年後の組織構造を説明する。

第 9 章では、本論文をまとめ、結論を述べる。



## 第2章 画像認識技術の現状と課題

### 2.1 画像認識技術とは

本章では、本論文の中核技術である画像認識の概要と、本論文の目的である地形形状計測と画像意味認識に必要な画像認識技術の現状について述べる。

まず、画像認識とは、画像を解析し、そこに映っている物体や特徴を認識し、検出することである。画像認識は、人間が無意識に行っていることであるが、コンピュータに画像認識させることは容易ではない。たとえば、コーヒーカップとコーヒーの画像について考えてみる（図2-1）。人間にとってコーヒーカップとコーヒーを認識するのは簡単である。頭の中ではコーヒーカップの形を記憶しており、その記憶から現前の形がコーヒーカップであると判断し、さらに、その中の黒い物体がコーヒーであると判断しているはずである。図では、日本語と英語の2つの言語のコーヒーの解説になっている。現在では、言葉になっていればこの程度の翻訳は簡単に行えるものである。別の例としてバードウォッチングを考えてみる。野鳥の会の会員は、飛んできた鳥を識別し、それが雀であるのか、燕であるのか、百舌鳥あるいは鳥なのか、瞬時に判別できる。人間は、未知の鳥の特徴を把握し、記憶の中に蓄積された膨大なデータや経験を参照し、一瞬にして対象を識別し、認識をすることができるのである。このように、人間は極めて優れた画像認識能力を有している。この人間の目と頭脳を持つ優れた機能・能力をコンピュータによって実現するのが画像認識であり、高度で複雑な処理が必要となる。なお、本論文では、今後、コンピュータによる画像認識を画像認識と呼ぶこととする。

次に、一般的な画像認識の流れを説明する（図2-2）。一般的な画像認識では、前処理として入力画像に様々な明るさを正規化する輝度差異を吸収するような画像処理を行う。次に、画像の特徴を抽出する。抽出された特徴は、予め用意されたモデル（辞書）と照合され、モデルと一致するかどうかの判断により入力画像の識別を行う。照合に用いるモデル（辞書）は、多数の照合用のモデル画像から抽出された特徴とそれらの分類カテゴリーのデータベースである[10]。これは人間の記憶に当たる部分である。また、1つの照合用モデルに対して、入力画像にそれが映っているかどうか、また、どこに映っているかを識別することもできる。

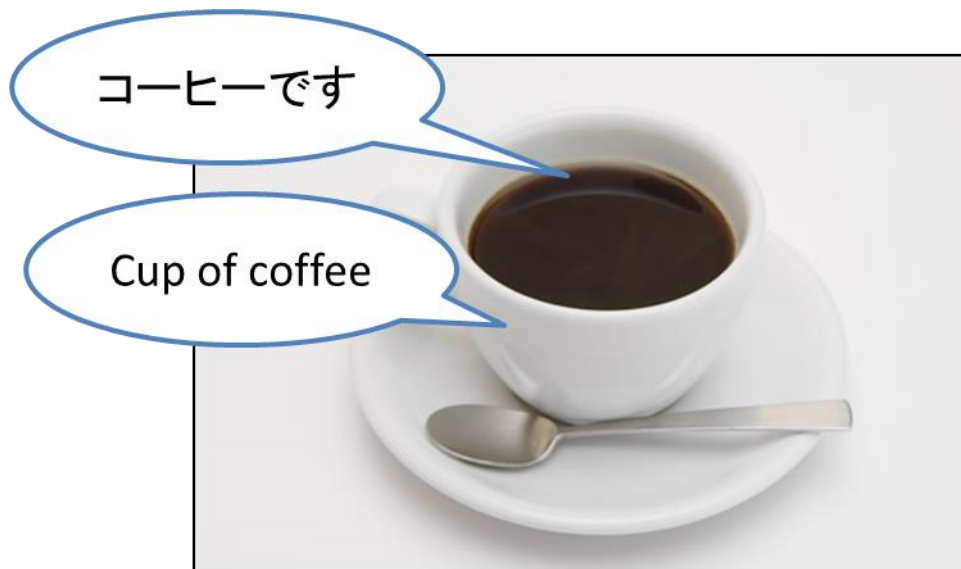


図2-1 画像認識の一例

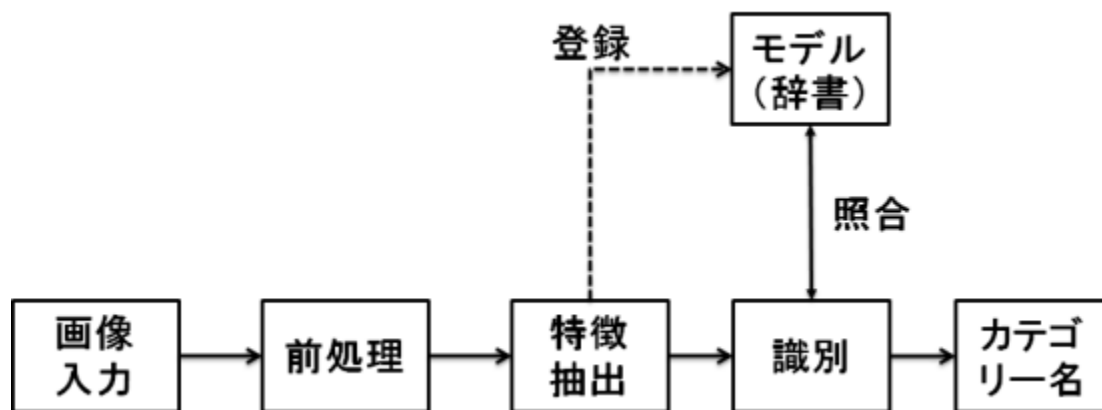


図 2-2 画像認識の処理の流れ

画像認識は様々な応用ができる技術であり、コンピュータとソフトウェアの発達により、各方面で利用されている。例えば、リモートセンシング、医用画像、製品検査、ロボットの視覚、侵入監視、コンピュータグラフィックス、文字認識、カメラの顔認識や指紋認識等、などがある。[3]

画像認識は製品の生産分野、医療分野に広く利用されており、セキュリティや個人識別にも利用されている。生産分野では、電子機器・コンピュータ・情報機器の機能拡張に連動して、IC マスクの検査、チップのシリコン基盤、プリント基板、表示用液晶パネルの欠陥検査、冷延鋼板などの形状／表面検査に利用されている。特に、生産ラインにおいては 1970 年代から寸法、形状計測に画像が使われており、特定項目の認識機能を備えたシステムも増加している。欠陥の検査／識別、部品の認識、部品のピッキング等、実用例は広範囲にわたっており、画像認識は、生産現場における作業者の苦痛からの解放、検査の高度化並びに安定性の向上、検査の経済性、ひいては生産の省力化、生産性の向上に大いに貢献している。

医療分野では医学診断において応用されており、特に放射線診断機器に関する画像認識、顕微鏡画像に対する画像認識の研究は、20 数年に及んでいる。X 線、超音波、そしてポジトロン[4]等と身体との相互作用によって生じる信号により体内を映像化するコンピュータトモグラフィが発達し、診断に大きく貢献している。また、光を用いた OCT(Optical Coherence Tomography)[5]などの光干渉を用いた光干渉断層撮影像からの認識事例などもある。診断補助の例としては、胸部 X 線像、心臓 X 線像などを対象とし、臓器の輪郭認識や、さらには血液像の自動分類認識があり、白血病など各種の血液疾患を発見できる。

セキュリティでは、立入り禁止区域の監視、侵入者の監視[6]、駐車場での車の検出、高速道路のゲートや警察の N システムでのナンバープレートの認識[7]などの監視並びにセキュリティを目的とした監視カメラシステムがある。また、個人の識別もさまざまな場面で要求されており、バイオメトリックス[8]として、顔、眼底、瞳、指紋、掌紋等をもとに個人識別の生体認証が行われている。さらに、印影照合[9]なども金融機関では実用化されている。

以上、数例を列挙したにすぎないが、他にも非破壊試験、赤外線等不可視情報の画像計測処理、生鮮食品の選別など、その応用は多岐にわたっている。

画像認識は、現代の高度情報化社会を支えるコンピュータの目と頭脳であり、今後、画像認識のハードウェア・ソフトウェア両面に関する技術の発達により、さらに応用分野が広がることが期待されている。したがって、画像認識を用いた事業は、非常に大きな可能性を秘めている。

## 2. 2 本論文における画像認識

本論文では、画像認識を地形形状計測と画像意味認識の技術に応用し、それぞれのシステム開発と事業化について説明する。本節では、地形形状計測と画像意味認識に必要な画像認識について説明する。画像意味認識とは、「画像に何が映っているか」「何の画像であるか」というような人間が無意識に行っている判断をコンピュータで自動処理することである。

一方、本論文で扱う地形形状計測は、視差の異なる位置から撮影された同一の被写体の複数の画像を用い、それぞれの画像の対応する点から、その点の位置を求める写真測量である。異なる画像の対応点が得られれば、バンドル法[25]-[33]などの三次元化専用のアルゴリズムを用いて逆問題を解くこと[34]により被写体の三次元形状を求めることができる。本論文では、オーストラリアのメルボルン大学の写真測量学の世界の権威であるクライブ・フレイザー教授から直接指導を受け、有償でライセンスされたバンドル法の三次元計算ライブラリを使用する。複数画像間の正確な相対位置座標が求められれば、世界最高水準の三次元計測が実現出来るライブラリである。したがって、いかに正確な複数画像間の対応する点を検索するかが重要となる。そのため、初めに基準となる画像の特徴点抽出を行う。特徴点とは、画像の輝度変化が大きい物体のエッジ等、画像の特徴的な点である。コンピュータで特徴点の認識を行う場合には、人間が認識できるような特徴である必要はない。写真測量のためには、できるだけ一様かつ密な特徴点を決める必要がある。次に、異なる画像で特徴点に対応する対応点を検索する。これらの処理が画像認識である。

## 2. 3 三次元計測と画像意味認識のための画像認識アルゴリズム

図 2-3 は、本論文での画像認識の 2 つの分類、すなわち、地形形状計測向けの画像内の特徴点の位置を認識するタイプと、類似画像検索のための画像全体を認識するタイプのアルゴリズムを示している。地形形状計測と画像意味認識のための特徴点抽出と画像照合で使用しているアルゴリズムは、認識する画像が画像の一部分の場合と画像全体の場合であり、ほぼ類似している。

地形形状計測のための特徴点認識には、一画素毎に位置を認識するテンプレートマッチングと画像の位相情報を利用した一画素以下の分解能で位置を認識するサブピクセルマッチング、あるいは、近年開発された SIFT 特徴[18][19]等がある。テンプレートマッチングには、輝度差異を吸収できる正規化相互相関 (NCC) や統計的正規化相互相関 (ZNCC) を用いる。

類似画像検索の場合には、差分により計算する方法や局所特徴量 (SIFT 特徴) を求めた後にクラスタリングによって行う方法[35]、画像を特異値分解 (SVD) 後、画像間の内積を求め、一致しているときは  $\cos(\pi)$ 、すなわち 1 になることを利用して画像間の一致を求める手法 (COS 変換) を利用する方法[36]、SURF アルゴリズム[37]と SVD を利用し COS 変換を利用する方法、画像をベクトル化してとらえて COS 変換を利用する方法、Java 画像処理ライブラリ中の画像比較関数を使用した類似画像検索手法[38]がある。アルゴリズムの詳細は第 6 章で説明する。

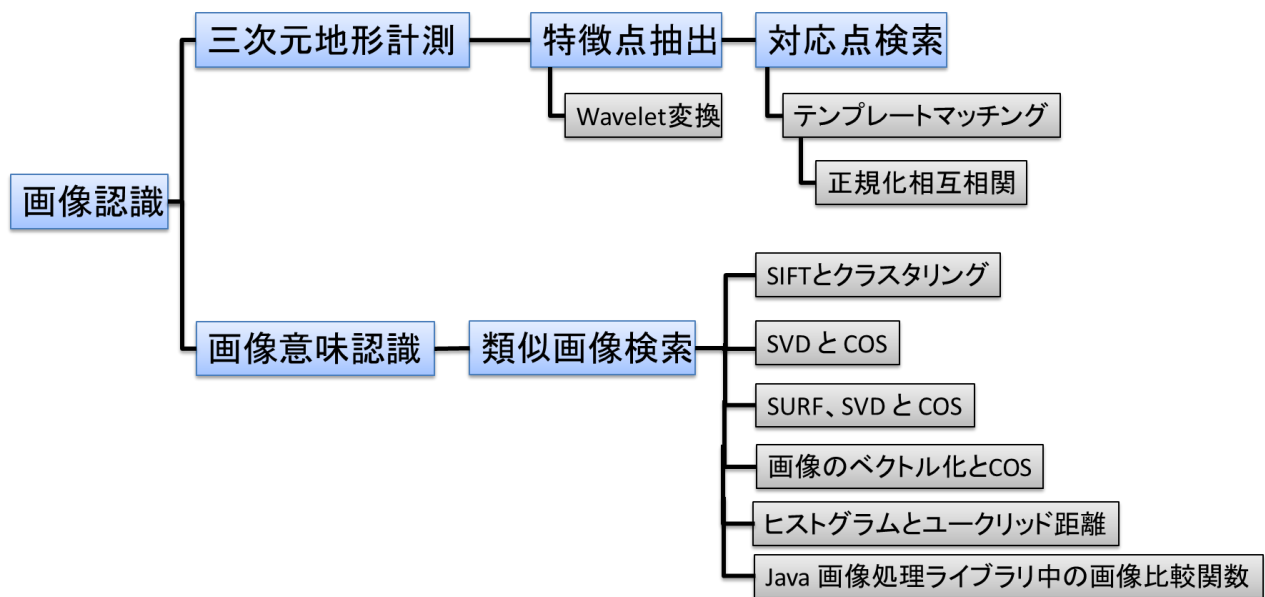


図 2-3 本論文における画像認識の 2 つの分類

## 2. 4 特徴点抽出のアルゴリズム

本節では、地形形状計測の画像認識で重要となる特徴点抽出のアルゴリズムについて説明する。

### 2. 4. 1 特徴点の定義

写真測量、ステレオ画像や動画あるいは複数の視差画像から三次元復元計算を行うには、各画像間で点と点の対応を決定する必要がある。カメラの位置を厳密に設定して平行移動する場合や視差が少ない場合はすべての画素の対応を決めることも可能であるが、普通は計算コストを考え、まず対応の取りやすい点を選び、これらの点の間の対応を決定する。金澤[11]によれば、この対応の取りやすい点は特徴点(feature point)、関心点(interest point)、あるいは、普通、対象物の角や線の交わりが選ばれることから頂点(corner)と呼ばれる。本論文では以下「特徴点」という用語を用いる。

### 2. 4. 2 特徴点抽出の動向とアルゴリズム

画像内の点や線などの特徴点の抽出は三次元形状計測の最初の処理であり、抽出された特徴点に基づいてその後の処理を行う。三次元形状計算などの研究に比べ、特徴点を検出するアルゴリズムの研究は遅れている。その理由は、認識結果が認識対象の画像自体に左右されるので、処理のスキームを試行錯誤により決定せざるをえず、どのような認識対象にも適用可能なアルゴリズムがあるわけではないからだと考えられる。そのため、今日入手可能なコンピュータビジョンの教科書[13][14]には、射影幾何学や統計的推定、最適化計算など数学を中心として書かれているが、その解析の元となる画像内の点をどのように抽出するかについては、ほとんど触れられていない[11]。2010年になって、藤吉、山下らが画像の局所特徴量について説明している[12]が、三次元形状計測では、求められるのは画像の一部の局所特徴ではない。一方、伝統的な画像処理は領域に対するものが多いため、市販の画像処理のアルゴリズム集[15]では、エッジ検出、領域分割、画像修復、輝度値変換などが中心で、特徴点の検出についてはほとんど説明されていない。

次に、特徴点抽出に関する動向を説明する（図2-4）。図2-4は、藤吉らによるコンピュータビジョン最先端ガイド2 [12]を改変したものである。輝度情報を利用し、人間が見て理解できるような特徴点を利用する場合は、第一世代、人間が見て理解できないような、いわゆる意味のない特徴点を利用する場合は、第二世代、さらに第二世代特徴点を複数接続（Joint）して利用する場合を第三世代の特徴点としている。この分類が現在一般的に行われているものである。

本論文の地形形状計測で対象とする砂浜の画像の場合、輝度情報を用いて特徴点を求める、第一世代特徴点を利用する必要がある。

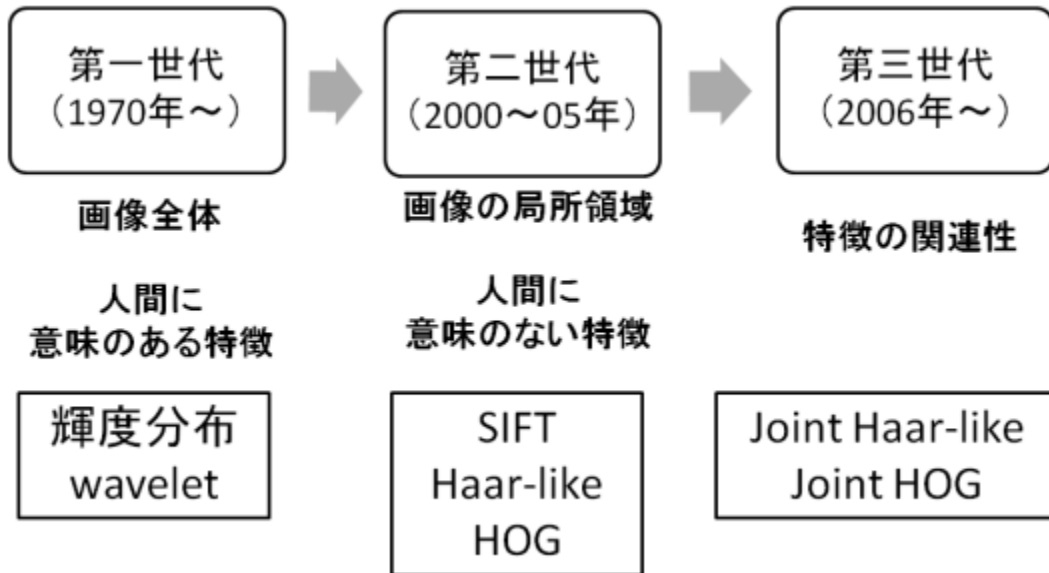


図2-4 特徴点抽出に関する動向 コンピュータビジョン最先端ガイド2[12]より改変

### 第一世代の特徴点：

輝度情報を利用し、人間が見て理解できる特徴点を利用する場合には以下の方法がある。

#### a)輝度分布

二値化などで得られる特徴点、あるいは、通常のマスキ処理やエッジ微分等で取得される特徴点、すなわち、輝度値の変動を特徴点とする。[15]

#### b)Harris 作用素

Harris 作用素とは、Harris コーナー検出器と呼ばれ、その名の通り、室内であればテーブルや椅子などの人工物のエッジ部分や交点を特徴点として抽出する方法である。あるいは建物を復元しようとする場合に、窓のエッジ部分や直線検出により交差部分を抽出するのを得意とするオペレータである。金澤 靖、金谷 健一[11]らによれば、コンピュータビジョンのための特徴点抽出アルゴリズムとして最も良くつかわれている。

#### c) Wavelet 特徴(ウェーブレット、さざ波の意)

空間周波数領域での特徴点であり、離散 Wavelet の場合は通常 8 x 8 で行われる。画像の輝度変化が大きい場合（エッジ部分）、少ない場合（平面部分）を指定して、Wavelet 変換の回数により、特徴点を取得できる。Wavelet 変換を行うと画像は周波数成分に分かれるので、特徴点抽出のための閾値処理を行い、得られた画像を Wavelet 逆変換することで特徴点の位置を取得できる。（後述）

## 第二世代の特徴点

人間が見て理解できない、いわゆる意味のない特徴点を利用する方法である。

### a) Haar-like 特徴

Haar wavelet の様なマスクを使った計算方法で、主に顔検出に使われるアルゴリズムである。積算画像(CGの事前計算テーブルと同様の圧縮画像)と、目の部分だけを探すことで顔検出の速度を20万分の1に高速化した。図2-5は Viola&Jones CVPR2001 Figure.3 より顔検出事例を示している [16]。

- \* 積算画像による Haar-like 検出器の高速演算
- \* 多段フィルタ (cascade) による非顔領域の高速排除

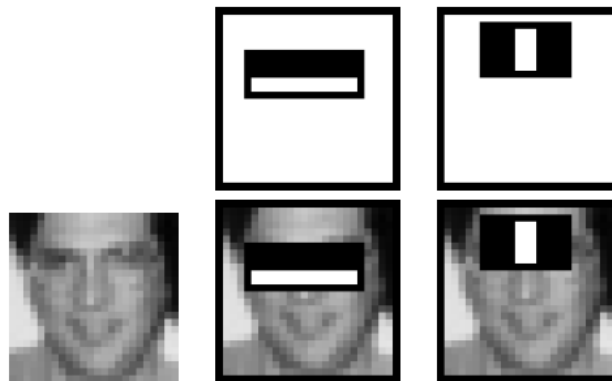


図2-5 Viola&Jones CVPR2001 Figure.3 より顔検出事例[16]

### b) HOG(Histogram of oriented Gradient)

直訳すると、「方向づけられた勾配のヒストグラム」ということになる。つまり、入力画像の勾配(微分画像)を求め、それを局所領域ごとに勾配方向で区間分割してヒストグラムを取ったものを特徴点としようとする手法である。一般物体認識では、Haar-like 特徴より、性能がいいと言われている。画像中の人物や車を探すのによく使用されている[17]。

### c) SIFT 特徴 (Scale-Invariant Feature Transform)

SIFT 特徴は、その名の通り、画像のスケール変化や回転に不変な特徴点であり [18][19]、その処理は、キーポイントと呼ばれる特徴点の検出と特徴点の記述の2段階に分けられる。コーナー点やあるピクセルを中心とした周辺領域に多くの濃淡情報を持っている点がキーポイントとして検出される。以下に処理の流れを示す。

#### a) キーポイントの検出

##### 1. スケールとキーポイント検出

DoG(Difference-of-Gaussian)画像を用いてキーポイントとキーポイントを中心とした特徴量を記述する範囲を表すスケールを検出する。

##### 2. キーポイントのローカライズ

1.で検出されたキーポイントから特徴量として向かない点を削除しサブピクセル推定を行う。

#### b) 特徴点の記述

##### 3. オリエンテーションの算出

回転に不変な特徴を得るためにキーポイントのオリエンテーションを求める。

#### 4.特徴点の記述

3.で求めたオリエンテーションに基づいてキーポイントの特徴点を記述する。

SIFT 特徴は、そのロバスト性から自動走行ロボットのステレオ視によく使われている。しかしながら、SIFT 特徴の問題点は、画像のあおり変化（アフィン変化）に脆弱なところである。筆者は、ステレオ視の画像をカメラの位置角度計算から、上から見た画像（パースペクティブビュー）に、一旦アフィン変換を行い、SIFT 特徴を求めたのち、アフィン変換により、元に戻す処理を行って得た特徴点の三次元位置計算を行えば、SIFT 特徴の問題点を解決することが出来ることを確認している。

SIFT 特徴を三次元計測に使用する場合は、特徴点数、対応点数が十分でなく、一様に分布していないという問題がある。

### 第三世代の特徴点

第二世代の特徴点の関連性を利用する場合である。

#### a)Joint Haar-like 特徴

2つ以上の Haar-like 特徴を利用する。精度が多少向上する。顔の検出に使われる[22]。

#### b)Joint HOG

2つ以上の HOG 特徴を利用する。人物の検出に使われる[20][21]。

## 2. 5 まとめ

画像認識のアルゴリズムは、上記のように、様々な特徴点抽出やパターン認識のアルゴリズムが存在するが、すべて一長一短であり、目的により使い分けなければならない。将来においてもアルゴリズムの使い分けが必須であり、アルゴリズムの決定は試行錯誤で行うしかないのである。

第4章と第6章でそれぞれ画像認識を用いた地形形状計測システムの開発と画像意味認識システムの開発を説明するが、本章で述べた画像認識アルゴリズムから適切なものを選び、さらに、独自のアルゴリズムを加え、最適化し、それぞれの目的に応じた自動画像認識処理を開発している。

## 第3章 顧客開発モデルによる事業化

### 3.1 はじめに

新製品や新サービスによる起業の際、一番リスクとなるのは製品を必要とするユーザーがいないことである。そこで、製品を買ってくれる顧客が存在するのか、さらには事業として拡大し得るのかどうかなどを検証しながら事業化していくことが望ましい。そこで、本論文では、「価値仮説検証法を用いた顧客開発モデル」という手法を用いている[49][50][51][52]。

顧客開発モデルとは、一言でいえば、成功しそうなビジネスモデルを顧客へのインタビューによって構築していく方法である。したがって、ビジネスモデルがすでに存在していて、それを前提として環境分析、戦略立案や施策立案をしていくといった従来のプロセスとは異なる。そもそも顧客開発モデルとは、8社の事業化を手がけて成功させたスティーブ・ブランク氏（スタンフォード大学工学部コンサルティング准教授）が提唱したモデルであり、起業成功のパターンをモデル化した事業化手法である。この手法は、NSF I-Corps（イノベーションコープ）と呼ばれており、アメリカ国立科学財団（NSF）が科学技術の事業化を標準化するためのプログラムにもなっている[54]。このNSF I-Corpsの日本版が、文部科学省主催の「研究成果の事業化のための顧客開発プログラム」である。

本論文では、第4章及び第6章にて二つの事業の展開方法について説明するが、両事業の構築に当たり顧客開発モデルを利用している。そこで、本章では、両事業の説明に先立ち、顧客開発モデルの概要を「研究成果の事業化のための顧客開発プログラム」での筆者のノートから再構成して説明する。

### 3.2 顧客開発モデルによる顧客の研究開発

ここでは、顧客開発モデルの考え方と手法、そして顧客開発のプロセスについて説明する。顧客開発モデルとは、事業化の失敗は製品が売れないことに起因することが多いことから、製品の研究開発の完成を待たずに小さな実験を繰り返し、顧客を“研究開発”して、売れないリスクを低減させるというものである。そこで、顧客開発モデルは、製品の研究開発との対比で「顧客の研究開発」と言われている。スティーブ・ブランク[50]によれば、顧客開発モデルがよって立つ考え方は以下の二つである。

- 1) 新規事業の失敗は商品開発の失敗ではなく、商品が売れないことによることが多い。すなわち、「作って売ってはじめて、買い手がないことに気づき、先行投資が無駄になる」という、新規事業立ち上げのパターンを避ける必要がある。
- 2) 徹底的に顧客を研究開発して、売れないリスクを軽減する。具体的には、顧客を相手に仮説検証を繰り返し、スケーラブルなビジネスモデルを探索する。

次に、顧客開発の手法について説明する。顧客の声を聞いてニーズを確認することは重要であるが、「顧客の声を聞くといっても何を聞けばいいのか？何を測れば顧客のニーズを掴めるのか？」という問題がある。この問題に対して、ブランク[49]は、以下の3つの手法を用いる。

- 1) ビジネスモデルキャンバス：ビジネスモデルを概観し、仮説を検証するためのツール
- 2) MVP（必要最低限の製品）：検証にかかるコストを抑えるための必要最小限の製品。これは、失敗するなら早く・小さく失敗し、修正をかけることがむしろ重要だと考えるからである。また、顧客からのフィードバックを取り入れて作成する。
- 3) ピボット：軌道修正



間違ったビジネスモデルのまま続けているのは不効率なため、ビジネスモデルを修正するという  
ことである。手持ち資金(予算)で何回軌道修正できるか、予め検討しておく。

さらに、顧客開発の4つのプロセスの概要を説明する。(図3-3)

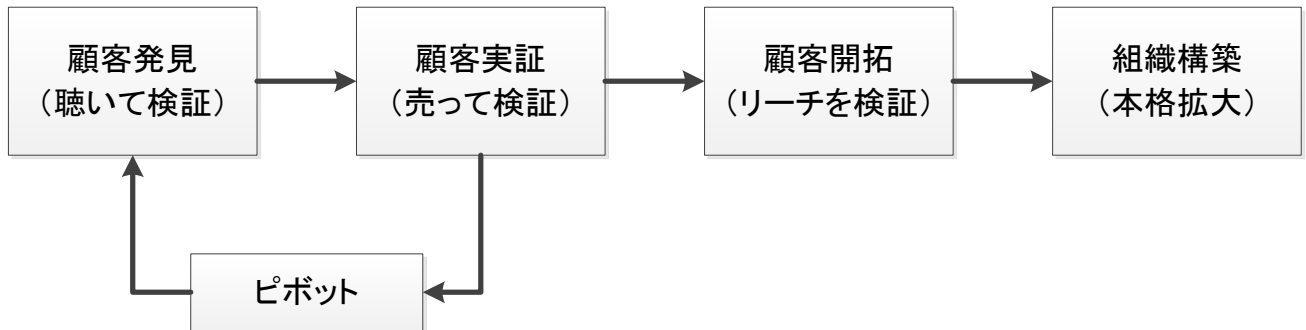


図3-3 顧客開発モデル

第一の顧客発見ステップとは、顧客へのインタビューにより製品コンセプトを検証していくことであり、価値仮説検証法と呼ばれている。すなわち、価値仮説検証法とは、顧客への提供価値の仮説を構築し、この仮説をインタビューにより実証していく手法である。たとえば、製品の機能に対するニーズがあるのか、ビジネスモデルは収益を確保することができるのかを確認する。ここでの合否判定基準は、「ニーズがあること」+「ビジネスモデルが機能すること」の二つである。具体的には、以下に記述するフェーズ①から④までのサイクルを回し、週単位で検証を行う。

- ・フェーズ① 仮説構築：後述するビジネスモデルキャンバス (BMC) を作成する。ビジネスモデルの明確な仮説を構築して検証に臨むわけである。
- ・フェーズ② 検証方法の検討：仮説の検証方法は顧客インタビューである。ここでは、仮説を検証するのに必要なインタビューの項目を洗い出してスクリプトにまとめる。顧客は、MVP (最小限必要製品) に対しどんな課題や要望を抱えているのか、それは切実なものか、これまでにどんな代替案を取って来たのか、それに不満はあるか、あらたな解決策に興味はあるか、対価を支払うのか等である。
- ・フェーズ③ 検証の実行：インタビューのコツとしては相手が考え込む、無音時間の間を有効に利用する。顧客からの声を聴きインサイトを得るためには、自分から話し出さないことがポイントである。製品が完成すれば使いますという声を聞けても、対価を要求して確認を行う。製品の実績を求められたら、リスクを取ってくれない、すなわち、アーリー・アダプターではない人であり、インタビューの対象が間違っていることになる。アーリー・アダプターは、深刻なニーズを持ちかつリスクを取ってくれる人である。
- ・フェーズ④ 結果の考察：インタビュー結果を整理し、仮説が検証できたかどうかを検討し、軌道修正するかそのまま進むかの結論を出す。仮説が間違っていた場合、顧客が話したことから得たインサイトを手掛かりに軌道修正し、新たなビジネスモデル仮説に書き換える。

第二の顧客実証ステップとは、顧客に製品を売ることで仮説を検証することである。有償販売で検証し、創業者や企画者以外でも売れるような必勝受注パターン (営業ロードマップ) を確立していく。ここ

での合否判定基準は、「有償で販売できたこと」＋「営業ロードマップが完成したこと」である。もし仮説を検証できなければ軌道修正し、顧客発見からやり直す。

顧客インタビューによって仮説が違っていたことが明らかになった場合、ビジネスモデルを大きく修正する必要がある。ビジネスモデルキャンバスにおける 9 つの構成要素のうち一つでも内容を変更する場合、たとえば、BtoC から BtoB へ顧客セグメントを変更する場合、製品販売から定期購読型サービスに変更するような収益モデルを変更する場合、あるいは、いわゆるバリュー・プロポジションを変更するような場合である。仮説が間違っていた場合軌道修正は不可避であるが、容易ではない。手持ち資金（予算）により何回軌道修正出来るかについてあらかじめ検討しておくことが必要である。

第三の顧客開拓ステップとは、ターゲット顧客にリーチする方法（告知・販促）を検証することである。販売を開始し、ターゲット顧客にリーチできるかどうかを確認する。また、ポジショニングやメッセージが顧客に効果的・効率的に伝わるかを確認する。ここでの合否判定基準は、「ターゲット顧客にリーチできたこと」＋「ポジショニングや内容が理解されたこと」である。

第四の組織構築ステップとは、検証済みのビジネスモデルを効率的・組織的に実行して事業を本格的に拡大することである。学習と発見の継続は依然として大事であり、機動性・柔軟性を維持するため、ミッション志向の経営を行っていく。ここでの合否判定基準は、ミッション志向の組織が構築できたことである。

なお、顧客開発モデル使用が適切でない場合もある。それは、創薬事業のように製品が開発できれば必ず使用してくれるというように、顧客不在リスクが少ない事業や、大企業が既存事業を拡張するような連続的イノベーションの場合である。また、顧客開発を実施しない場合に比べ、製品が開発されるまで時間がかかるため、経営者や投資家などステークホルダーの支持が不可欠である。そして、顧客発見インタビューを行って内容を明らかにしてしまうので、ステルスモード（いわゆる秘密主義での製品開発）ではなくなるなどの課題もある。

### 3. 3 ビジネスモデルキャンバスとニーズの発生メカニズム

ここでは、まず、顧客開発手法の一つであるビジネスモデルキャンバスの先行研究をレビューし、顧客開発プログラムにおける顧客ニーズの考え方、すなわち、顧客ニーズの発生メカニズムとバリュー・プロポジション（提供価値）、そして、市場とターゲット顧客の関係について説明する。

ビジネスモデルキャンバスとは、顧客開発モデルにおいて技術を事業化する際、ビジネスモデル仮説を抜けなく俯瞰的に構築・検証するツールのことである。

#### 3. 3. 1 ビジネスモデルキャンバスの先行研究のレビュー

発明者であるアレックス・オスターワルダー（Alexander OSTERWALDER）によると、ビジネスモデルキャンバスはローザンヌ大学の博士論文 THE BUSINESS MODEL ONTOLOGY A PROPOSITION IN A DESIGN SCIENCE APPROACH(2004)[65]が、初出であるとしている。情報処理では、オントロジーとは「概念（化）の明示的仕様」と定義されており、簡単に表現すると、「言葉の階層構造とネットワーク」である。いわゆるオブジェクト指向設計における、クラスやインスタンスといった形で表現され

るモデル化の概念である。すなわち、ビジネスモデルオントロジーとは、ビジネスモデルのモデル化といえる。

アレックスの論文では、世界的に有名なモントレージャズフェスティバルをケーススタディとして、ビジネスモデルの全体像を鳥瞰図で表現した図（図3-4論文[65]より引用）が、ビジネスモデルキャンバス風のものとなっている。その後、イブ・ビニユール氏との共著であるビジネスモデル・ジェネレーション[53]により洗練され、現在の形になっている。

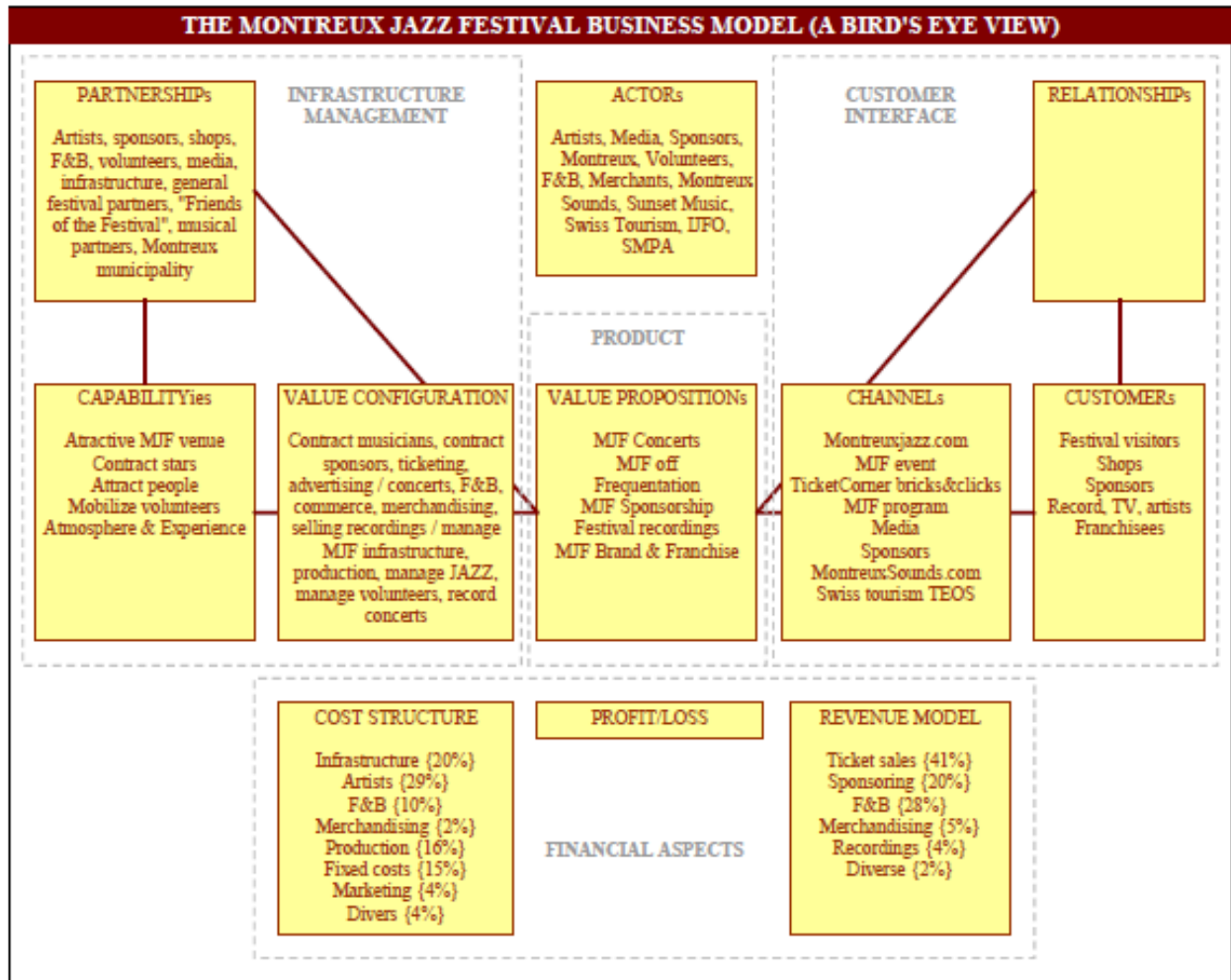


図3-4 モントレージャズフェスティバルのビジネスモデル全体像を鳥瞰図で表現  
（図3-4論文[65]より引用）

国内では、中小企業政策研究会がビジネスモデルキャンバスを使って分析したビジネスモデルギャラリーVOL.1[71]と同VOL.2[72]に約50社のビジネスモデルの事例研究があり、海外では、ビジネスモデルキャンバスを活用した事例研究もある[70]。しかしながら、学会等での研究報告は見当たらない。

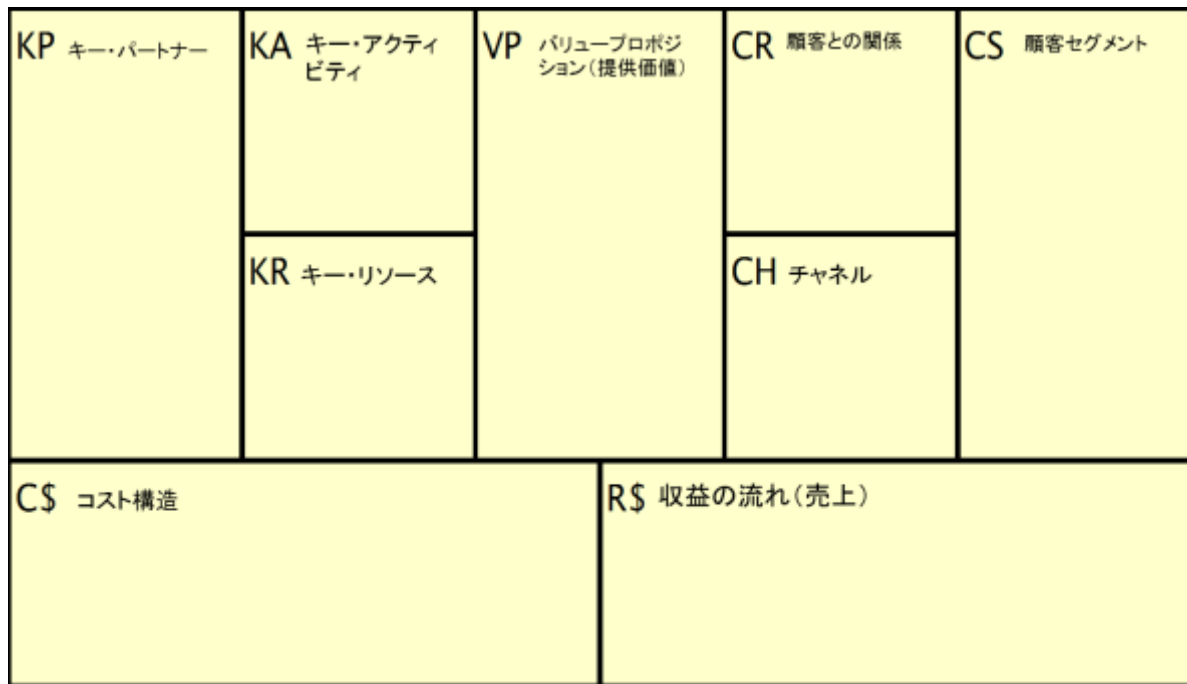
### 3.3.2 ビジネスモデルキャンバスによる仮説の構築

顧客開発モデルでは、ビジネスモデルの全体像を俯瞰できるテンプレートであるビジネスモデルキャンバスを使用して仮説を構築する。ビジネスモデルキャンバスとは、図3-5のように、ビジネスモデルの全構成要素を1枚に俯瞰的に盛り込み、要素間の相関性が理解できる形で「見える化」するフレームワークである。これは、ビジネスモデルの構成要素を9個のビルディングブロックとして定義したもの

で、それぞれ、以下の通りである。

- ① CS：顧客セグメント
- ② VP：バリュー・プロポジション（提供価値）
- ③ CR：顧客との関係
- ④ CH：流通チャンネル
- ⑤ R\$：収益の流れ（売り上げ）
- ⑥ KR：キー・リソース（カギとなる資源）
- ⑦ KA：キー・アクティビティ（カギとなる活動）
- ⑧ KP：キー・パートナー（カギとなるパートナー）
- ⑨ C\$：コスト構造

ビジネスモデルキャンバスというツールを使うのは、ビジネスモデルを考える際、構成要素に抜けがなく、適切なビジネスモデルの仮説が効率的かつ实际的に考えることが出来るからである。



出典:ビジネスモデルジェネレーション(Alex Osterwalder他著、翔泳社)を改変  
Source: BusinessModelGeneration.com

図3-5 ビジネスモデルキャンバス

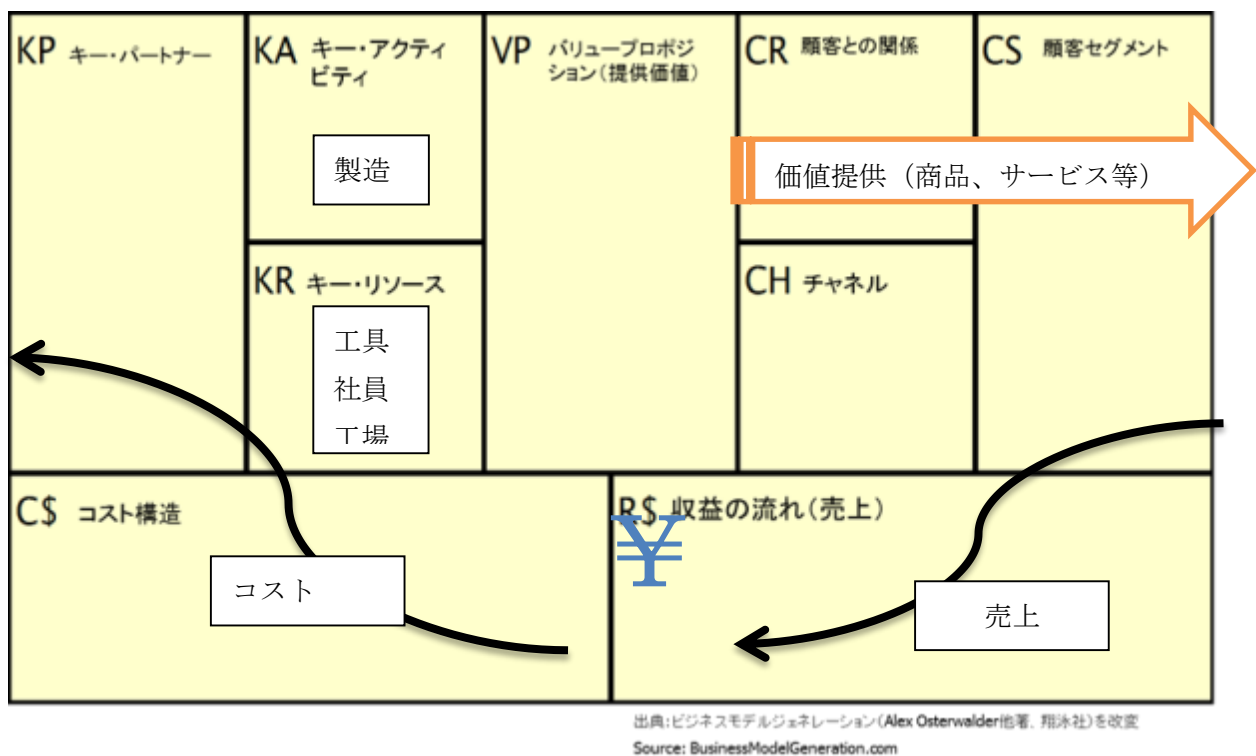


図3-6 ビジネスモデルキャンバスでの商流

次に、ビジネスモデルキャンバスの仕組みを説明する(図3-6)。右側は顧客であり、バリュー・プロポジションを通じてベネフィットを受け取ることで対価を支払う。対価は売上となり、左側に流れていく。コスト構造の内容としては、キー・アクティビティ、キー・リソースそしてキー・パートナーがある。提供価値により大きく売り上げることができ、キー・パートナー等に支払われる金額が少なければ利益が出る。キー・リソースは、たとえば、社員や機械工具であり、社員がキー・パートナーから仕入れた材料を用いて製品を製造する。

### 3.3.3 バリュー・プロポジションの作成

ビジネスモデルキャンバスを使って自社のビジネスモデルを開発する際、バリュー・プロポジションを考える必要がある。

まず、顧客開発モデルでは、ニーズそのものではなくその背後にあるメカニズムを検証していく。これをニーズのメカニズムといい、ニーズのメカニズムとは、顧客は、「なぜ？」製品を必要とするかの仮説を記述したものである。なぜ必要とするのかの答えは、「～したいから」である。この時「～したい」をJob To Be Done(JTBD)と呼ぶ。よく知られているセオドア・レビッドによれば、ドリルを買う人は、『顧客は0.25インチのドリルが欲しいのではない。0.25インチの穴が欲しいのだ』とのことである。すなわち、顧客は、穴を簡単に開けたいという目的を持っており、その手段として電動ドリルが欲しいにすぎないのである。この時、ドリルという製品はJTBDの実現手段といえる。製品へのニーズは、目的であるJTBDの有無で確認することができる。

次に、ニーズのメカニズムを検証するため、以下の3点の深堀をする。(図3-7 ニーズのメカニズムの模式図) すなわち、①何かやりたいことがある(JTBD)、②課題への不満と要望、③現状対策である。やりたいことへの現状の対策が適切でなく、課題への不満があれば要望が出てくる、これがニ

ーズとなり、新しい対策の価値がバリュー・プロポジションとなる。

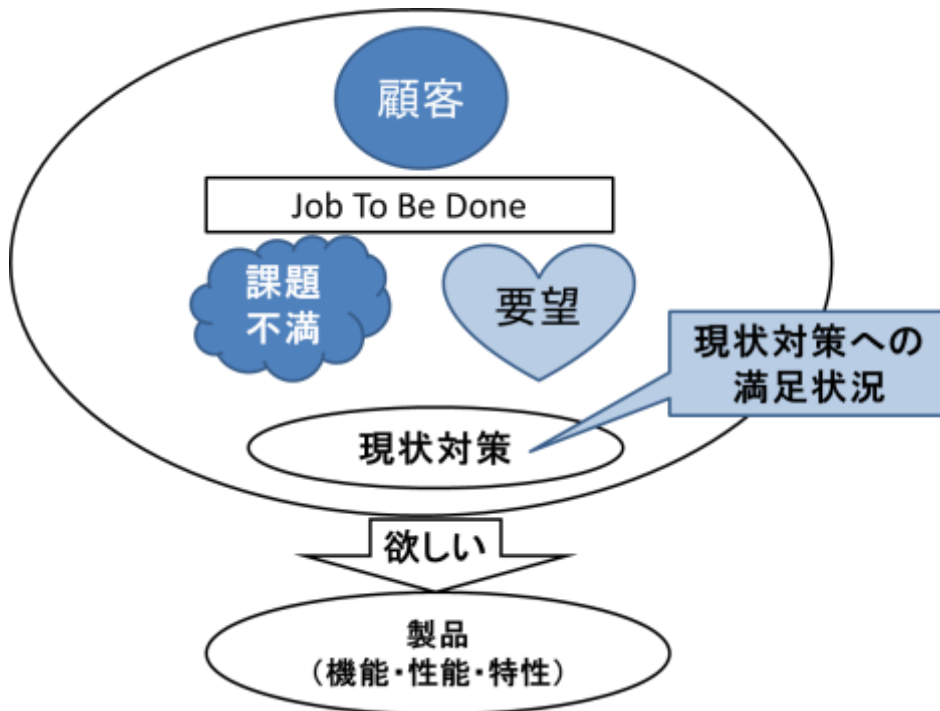


図3-7 ニーズの発生メカニズムの模式図

(「研究成果の事業化のための顧客開発プログラム」テキストを参考に作成)

バリュー・プロポジション（価値提案）とはビジネスモデルキャンバスの構成要素の一つであり、想定する顧客セグメントから見た価値のことであり、これは明確に記述する必要がある。具体的には、製品についての仮説（機能、性能、特徴）、または製品がもたらす顧客にとっての価値（効用）に関する仮説を説明するものである。顧客にとっての価値とは何か、「顧客の課題を解決して JTBD を実現する」ものは何か、と考える。図3-8はバリュープロポジション（価値提案）の概念図を示している。

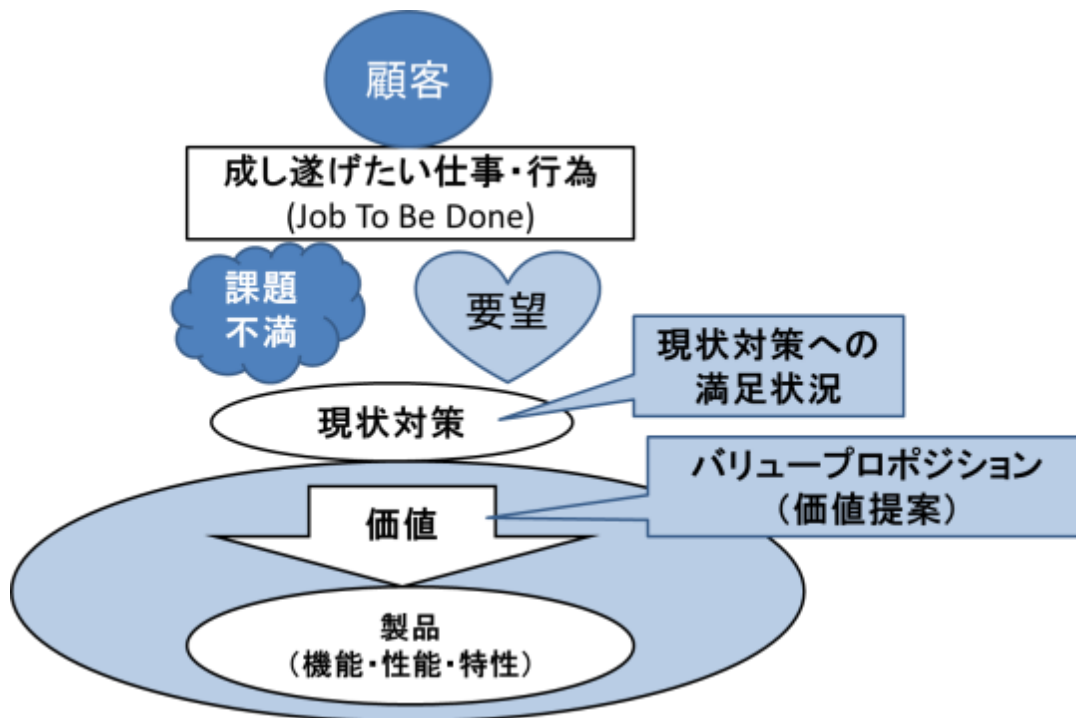


図3-8 バリュー・プロポジション（価値提案）の概念図  
 （「研究成果の事業化のための顧客開発プログラム」テキストを参考に作成）

顧客発見ステップでは、ビジネスモデルキャンバスを使ってビジネスモデルを考えていく際、価値提案を行う顧客を絞り込んでいく必要がある。なぜなら、顧客を絞り込まないと有効な顧客検証が出来ないからである。ここで、顧客を絞り込むというのは、ニッチ指向というわけではなく、ニーズのありそうなセグメントから順に検証していくということである。対象市場が大きければ、1つの顧客セグメントで有効性が検証できればそれが「蟻の一穴」となり、『たった一人』を確実に振り向かせると100万人に届く、とされる [57]。ニーズが発見できた場合には、次の顧客開拓ステップで必要となる顧客市場のスケラビリティを検討していく。

### 3.3.4 ターゲット市場のスケラビリティの確認

製品の販売によって継続して収益を上げていくためにはもともとの市場が大きいこと、さらに、技術や製品の汎用性が高いことが必要である。このような技術や製品の汎用性のことをスケラビリティという。顧客開発プログラムではこのスケラビリティも検討していく。そのため、全体市場とターゲット市場の関係を、TAM（トータル・アドレスサブル・マーケット）、つまり、市場全体、SAM（サブド・アベイラブル・マーケット）すなわち、自社の販売チャンネルでリーチ可能な最大市場規模、そして、ターゲット市場、つまり、購入見込みが高い当面の重点取り込み市場というように三つに分類する。（図3-9）

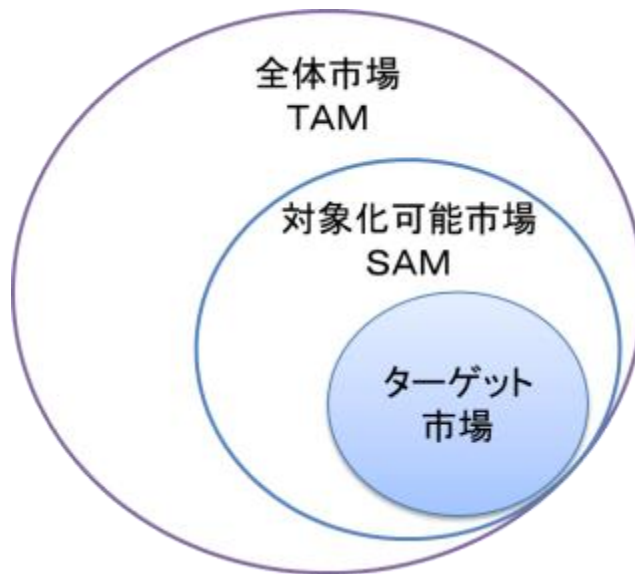


図3-9 TAM、SAM、ターゲット市場  
 (「研究成果の事業化のための顧客開発プログラム」テキストを参考に作成)

1) 横方向のスケラビリティとは、現在のターゲット市場から別のターゲット市場へ展開していくような拡張性をいう。技術や製品に汎用性があれば、図3-10のように、同じ製品であっても、ターゲット市場を増やしていく手法をとることが出来る。例としては、コンシューマーユーザーからビジネスユーザーへの展開が一つである。

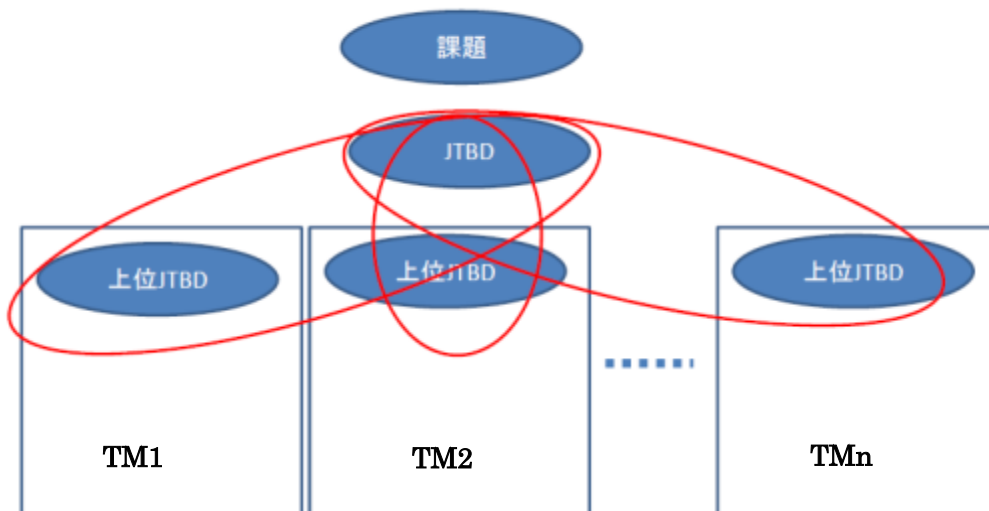


図3-10 横方向のスケラビリティ (TM:ターゲット市場)  
 (「研究成果の事業化のための顧客開発プログラム」テキストを参考に変更)

2) 縦方向のスケラビリティとは、時間がたつにつれて製品が普及し、そのライフサイクルがどのように展開されるかを予測し、現在のターゲット市場が拡大し、対象化可能市場での顧客が最大でどれくらい期待できるかという拡張性をいう。図3-11に示すように、現在のターゲット市場の将来に想定顧



客がいることが必要とされる。たとえば、スマートフォンの市場をターゲット市場にすれば、18億人が全市場にありと予想できる。スマートフォンのように市場が大きければ、世界規模では数億人といった顧客が獲得できるということである。

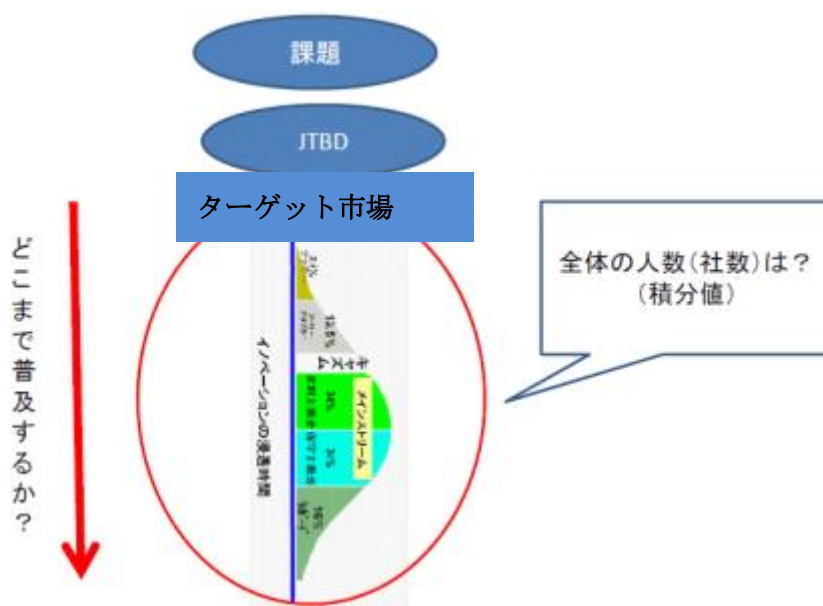


図3-11 縦方向のスケールビリティ

(「研究成果の事業化のための顧客開発プログラム」テキストを参考に変更)

### 3.4 顧客ニーズを満たす必要最低限の製品によるニーズの検証

顧客のスケールビリティを検討し、想定しうる市場規模が十分に大きいことが確認できたところで、顧客ニーズを満たす製品を考える。ここでは、MVP (Minimum Viable Product 「必要最低限の製品」) というものを考えていく。必要最低限の製品とは、技術導入する際にイノベーターの次の2番目の顧客になってくれる人たち、つまり、アーリー・アダプターのニーズを最小限満たす製品のことをいう。(図3-12)

顧客としてなぜアーリー・アダプターが適切なのか。それは、アーリー・アダプターは、他社に出し抜かれたくないという思惑があったりして、製品やその実績がなくても期待だけでリスクを取って買ってくれる顧客だからである。アーリー・アダプターは人に先んじる競争優位性を大事にしており、製品の購入による一番乗りの速さやブレークスルーの入手を重視していることが多い。すなわち、製品を「買う」というより、大きくリスクを取るという意味で投資に近い考え方を持っているのである。また、アーリー・アダプターはリスクを取って採用してくれるという意味では運命共同体であり、アーリー・アダプターからフィードバックが多く得られるというメリットがある。

他のユーザーについてふれておくと、イノベーターは単なる新しい物好きのことを示し、理由はともかく新しい商品を購入する人たちである。この人たちはユーザーではあるが、真のユーザーではない。アーリー・マジョリティとレイト・マジョリティのメイン・ストリームは、人口分布上最大のセグメントであり市場としては重要だが、明確で切実なニーズは持っていない。彼らは、実績、安心、品質、ブランドを要求するセグメントである。この人たちは新製品にとっての大事な「最初の顧客」にはならないのであ

る。顧客インタビューを行っても、彼らから実績を求められたらターゲット顧客とはなりえないので早々に切り上げる必要がある。新製品の仮説検証においてメイン・ストリーム以降の意見はむしろ有害であるとされる[50]。

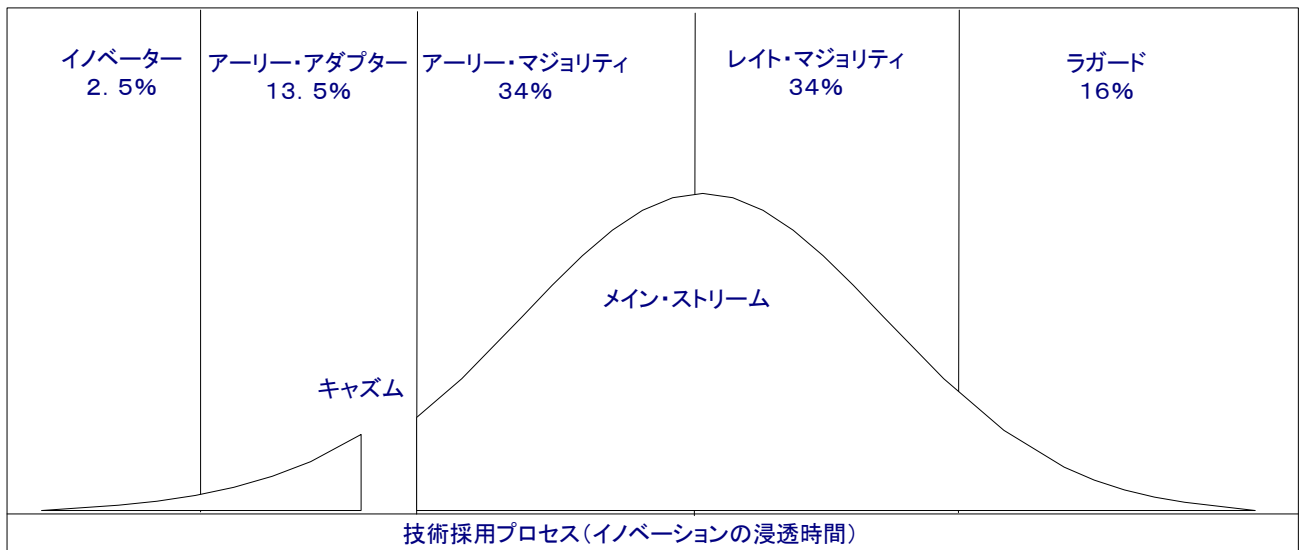


図 3-1 2 イノベーションの浸透時間と人口分布

MVP がなぜそれほど重要なのかといえば、製品サービスの機能や仕様は通常多くの要望を聞いていくために膨張しがちだからである。しかし、アーリー・アダプターは製品機能の完璧さよりも早さを重視しており、アーリー・アダプターにとって不要な仕様は無駄だと考えるのである。また、製品の仕様が多様過ぎると仕様のどこが顧客にとって不可欠であり、どれが不必要なのかわからない状態となる。そうになると、仮説の検証もできなくなってしまうのである。

MVP は、具体的にはパワーポイントによるものでもビデオによるものでもいいが、顧客に見せて「具体的な機能・性能・特徴」を理解してもらい、MVP が顧客の「課題解決」に役立つことを確信してもらえるものでなければ意味がないとされる。抽象的・一般論的・曖昧な MVP では抽象的・一般論的・曖昧な検証しかできないということである。

MVP の説明後に顧客から欲しい反応としては、この製品があれば自分の課題が解決できる！と顧客自身が発言する感動の瞬間であり、「いつ発売されるのか?」「どこで買えるのですか?」と尋ねられることが望ましい。

本事業の説明のため筆者が作成した MVP は、一つは製品化しようとしている地形形状計測ソフトウェアとカタログや実験結果であり、第 4 章で説明している。もう一つの画像意味認識技術では、第 7 章、第 8 章で説明している。

### 3. 5 バリュー・プロポジション・ステートメントの検証

顧客発見インタビューの目的は、アーリー・アダプターを発見し、ビジネスモデルキャンバスに書いた仮説を検証することである。直接の目的は仮説の検証であり、顧客ニーズが存在しているか確認し、ニーズがあればニーズのメカニズムがどうなっているかを確認することである。製品と市場との適合性を確

認し、製品サービスがニーズを満足できるか？対価は得られそうで想定通りか？の確認を行うことである。間接の目的は顧客の日常の生活・業務を知ること、顧客の価値観を知ることにより、顧客アーキタイプ（ペルソナ）を確立することにある。

また、インタビューの結果としてインサイトを得ることがある。インサイトとは、製品に関連して顧客から見出す、「ニーズの確認や軌道修正に役立つ発見」のことを言う。仮説が違っているときには当然のことながら軌道修正を行う。

なお、顧客発見インタビューで具体的に検証するのは、バリュー・プロポジション・ステートメントである。製品サービスの価値をバリュー・プロポジション・ステートメントにまとめて、顧客に意味が通るかを検証するのである。ここで、バリュー・プロポジション・ステートメントとは、「顧客〇〇」は「(JTBD)」を行いたい、その際「〇〇〇〇」という課題や不満、要望があるので、それに対応できる「〇〇機能」がある「〇〇製品」には、価値という点で「〇〇円の価格」を支払うだけの価値がある、となる。

例を上げると、「書籍をたくさん持っている人」は「本を保管しておく場所を取らずに保管整理」したいが、その際、「一度捨ててしまうと読めなくなり、再度読み返したい」という不満、要望がある。したがって、「電子データに容易に変換できて、全文読み返しできる機能」がある「スキャナー新製品」には、価値という点で「1台あたり200000円の価格」を支払うだけの価値がある、となる。

### 3. 6 顧客開発モデルによる起業実践

第3章では、事業化のために顧客開発モデルという手法を用いるため、先行研究のレビュー、顧客開発モデルの概要について説明した。

顧客開発モデルを利用すれば、世の中が驚くような新製品は望めないけれどもニーズに合った製品を生み出すことが出来、事業化も進めやすいと考える。マーケティングにおける顧客インタビューやFAE（フィールドアプリケーションエンジニアリング）など、既存のインタビューを使った事業化手法もあるが、それらとの違いは、顧客開発モデルはやり方が定型化しており、筆者のような起業初心者にとっては、ニーズの有無から事業化への感触が短期間に簡単に得られるところが有用である。また、事業化への感触が得られない場合に軌道修正という方針転換が手順の中に含まれているので、製品開発時における費用など、ダメージを最小限にして次のステップへ展開することが出来る。

顧客開発モデルは、第5章と第7章において、それぞれ自然地形の形状計測技術と画像意味認識を用いた画像の検索可能化（Searchable Image）技術の事業化の手法として利用する。

## 第4章 地形形状計測技術の開発と検証

### 4.1 はじめに

ダムによる河川流送土砂の遮断、建設資材としての砂利の採取、港湾・海岸構造物による砂の捕捉等により、わが国の砂浜は近年著しく侵食され、その対策が沿岸防災上、緊急の課題となっている。これに対して、構造物によって土砂の移動を抑え、局所的に土砂を安定化させる従来の方法では、流砂系の土砂輸送のバランスを大きく崩してしまい、むしろ海岸侵食を拡大させる側面も現れている。さらには、防護構造物による海岸の人工化は、マリンスポーツのサーフィン利用が出来ないなど、近年貴重な海浜環境の喪失を招いている[39][40]。遠州灘中田島砂丘付近の海岸は、天竜川佐久間ダム建設により土砂が堆積され、天竜川からの流出が停止して以来、50年間で200メートルも海岸が後退している。最近では、数10年前には流出しないと想着海岸に埋め立てたゴミが流出を始めるなど、大きな課題が出てきたため、行政での緊急の対策が求められた。その対策として、総務省により遠州灘プロジェクト（先端技術を用いた動的土砂管理と沿岸防災のためのプロジェクト）が採択され、筆者が所属する浜松ホトニクス株式会社も参加することになった。

遠州灘プロジェクトでの浜松ホトニクス株式会社の役割は、砂浜形状データを計測することであった。当初のプロジェクトの計画では、市販ソフトウェアに備わっている、特徴点および対応点を自動で探す機能を用いて形状データを再現し、砂浜形状データを取得する予定であった。しかしながら、砂浜のような特徴の少ない画像に対しては、市販ソフトウェアの機能では必要な精度は得られなかった。特徴点および対応点の検索を目視と手動にて行う場合は、ひとつの形状データを再現するのに約1日（選択する点数により数時間から数日）ほどかかってしまう。また、対応点を目視にて検索すると、眼精疲労がひどくなる。さらに、内部で使われている画像処理アルゴリズムが非公開であり、詳細を検討できない状態でもあった。そこで、砂浜の特徴点およびその対応点を自動で検索する地形形状計測ソフトウェアの開発を行うことになった。

本章では、部分類似画像検索技術を応用した三次元地形形状計測ソフトウェアと地形形状計測システムの開発を行い、海岸における養浜効果の検証結果を説明する。養浜の工法としては、浸食が著しい砂浜に対して、山奥のダムから堆積した砂を大型ダンプトラックで何万回も移送して砂浜に流し込む方法が知られているが、遠州灘プロジェクトでは、海岸の沖の砂が溜まっている場所の砂と海水を一緒に吸い込み、海岸までサンドバイパスを作って砂浜に流し込む、サンドレイズ工法と呼ばれる新しい方法を提案していたため、それらの養浜の効果を検証する必要があったのである。

三次元地形形状計測では、Waveletによる空間周波数領域を使って特徴点抽出を行い、特徴点の周辺の部分画像データをテンプレートとして、別画像からテンプレートマッチングにより対応点を探す。また、視差のことなる複数の地形画像を撮影するための可搬式定点撮影システムも製作する。

開発した三次元地形形状計測ソフトウェアと可搬式定点撮影システムで構成される地形形状計測システムを用いて、養浜の公共事業で土砂を流し込んでいる浜松篠原海岸における台風による気象インパクト前後における海岸の計測を行い、地形形状計測システムの検証を行っている。

従来、目視にて特徴点や対応点の検索を行う必要があったものを、今回開発した三次元地形形状計測ソフトウェアでは、地形の特徴点および対応点を比較的高密度でしかも自動で取得し、三次元化することが出来る。このソフトウェアでは、従来のステレオ画像の図化システムやマルチ画像を用いた写真測量システムに比べて、高頻度で詳細な地形計測が行えるのである。開発したシステムは砂浜以外の様々な

地形に適用可能であり、防災に役立てることが可能である。このシステムを用いた事業の検討は第 5 章で行う。

#### 4. 2 地形形状計測のための砂浜画像からの特徴抽出に最適なアルゴリズム

初めに砂浜画像の特徴点抽出に必要な条件と、それに適したアルゴリズムの検討を行う。

三次元地形形状計測では、基準画像から特徴点を抽出し、さらに別の画像から対応点を求め、この特徴点と対応点の組み合わせの点群と三次元ライブラリを用いて三次元形状を復元する（図 4-1）。

次に、実際の左右の画像から特徴点と対応点を求め、その点群からの三次元データ化を行った事例が図 4-2 である。右画像の赤枠部分の対応点を求めた部分は、左下に示している。この復元された三次元点群からドローネー三角形分割によってポリゴンメッシュを作成する、正確な地形を再現するためには、コンピュータ上に復元された形状の三次元表示時に、ポリゴンによるメッシュが精細であることが求められる。三次元形状を精緻に再現するためには、メッシュの交点である計測点に相当する特徴点数が、計測に十分な数があり、ほぼ等距離間隔が必要であり、かつ画面全体に一樣に分布している必要がある。

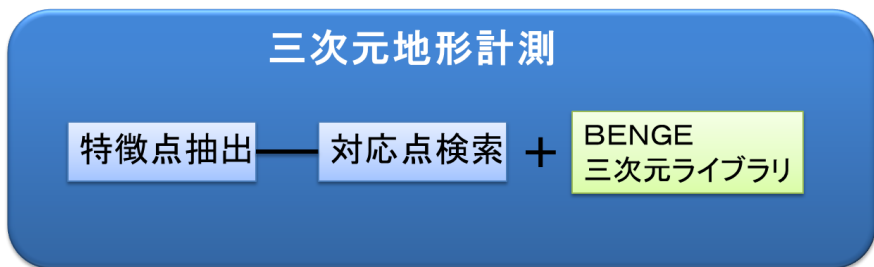


図 4-1 三次元地形形状計測の特徴点と対応点検索

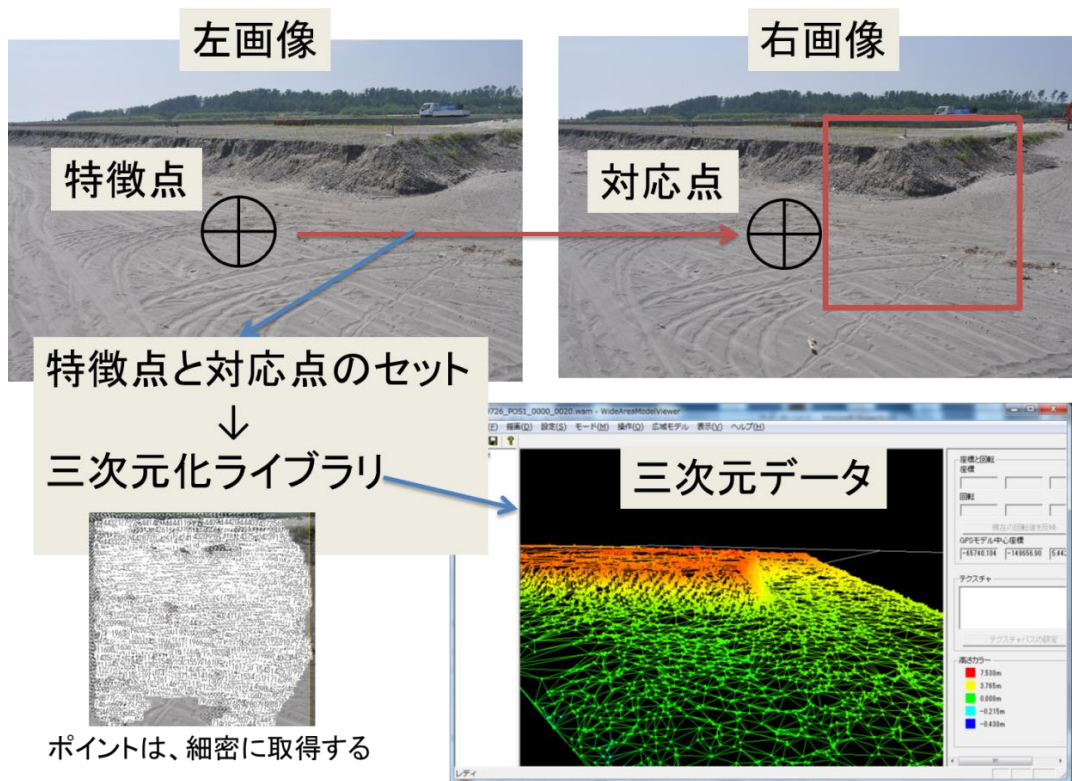


図 4-2 左右の画像から特徴点と対応点からの三次元データ化

砂浜画像の場合、画像がなだらかに変化している状態であればなだらかな輝度変化を抽出し、輝度の変化があまりない平らな状態である場合は、平面性を抽出することになる。礫や小石などの場合は、エッジ部分を特徴点として抽出するか、あるいは、風紋のような繰り返しパターンの輝度変化を抽出する。

これらは、人間が視覚的に理解できる特徴点であり、図2-4における第一世代の特徴点である。また、図2-4における第二世代の特徴点の場合は、抽出された位置がきれいに分散されないので、どちらかという形状の再現には不向きである。

すなわち、三次元地形形状計測システムのためにステレオ画像や動画画像あるいは複数の視差画像から三次元復元計算を行い、各画像間で点と点が同じ対応をした位置を自動的に抽出するには以下の条件が必要である。すなわち、

- a)砂浜のなだらかさや礫や小石のエッジを特徴とすること。
- b)取得する特徴点が形状を再現するために十分な数あること。
- c)特徴点が画像全体に一様に分布していること。

の三条件である。

砂丘を計測する場合、水平方向における位置分解能は、狭い領域の場合、20cm～50cm ごと、広い領域の場合は、1m～2m ごとのメッシュになる必要がある。

形状を詳細に再現するためには、狭い領域の場合は、500～2000 点、広い 100m x 200m 領域の場合、2000～10000 点が必要である。

砂浜の特徴点抽出のための3条件を切り口として、各種アルゴリズムの比較を行った結果は表4-1の通りである。それぞれのアルゴリズムが特徴点抽出の際の条件に適合しているかどうかを、◎：最適、○：適、△：普通、×：不適の4段階で示している。

表4-1 砂浜の特徴点抽出の3条件でのアルゴリズムの比較結果

	特徴点の取得アルゴリズム	a) 輝度変化利用、目視可能か	b) 点数調整1000点以上	c) 三次元化の為の分布具合	その他の特徴
第1世代	a) 画像処理 (エッジ微分等) [15]	○	△	×	Hough 変換 (直線検出)
	b) Harris 作用素[11]	○	×	×	コーナーの検出、机の角、エッジ 室内や建物向け
	c) Wavelet 特徴点 [23][24]	◎	◎	◎	礫や小石やごみの検出 平面の検出が可能
第2世代	a) Haar-like 特徴[16]	×	×	×	顔検出
	b) HOG 特徴[17]	×	×	×	人物の検出
	c) SIFT 特徴[18][19]	×	△	△	ロバスト性があり、走行ロボットで人気
第3世代	a) Joint Haar-like 特徴 [22]	×	×	×	顔検出を強化
	b) Joint HOG 特徴 [20][21]	×	×	×	人物の検出を強化

表4-1の検討結果から、すべての条件を満たすのは、Wavelet 特徴点しかないことが分かった。そこで、空間周波数ドメインで特徴点群を抽出できる、離散 Wavelet 変換による特徴抽出を行うことにした。

代表的な Wavelet では、平均ウィンドウ内に表示する低周波数成分と高周波数成分を基本とする Haar (ハール) Wavelet [23]や Gabor Wavelet [24]があり、一般には、Haar Wavelet 変換が使われる。2次元の Wavelet 画像変換は、一つの画像に対し Haar などの Wavelet を使用し、水平方向の1次元 Wavelet 変換を垂直方向に順次施した後に、垂直方向の1次元 Wavelet 変換を水平方向に順次施すことを変換領域が1画素になるまで  $(1/2)^n$  ごとに繰り返す (図4-3)。

言い換えると、一つの画像は、まず、四つのサブバンド (低周波数成分 LL1 と三つの高周波数成分 LH1, HL1, HH1) に再構成され、次に、LL1 はさらに四つのサブバンドへ再構成され、LLn が1ピクセルになるまでこの処理が繰り返される。離散 Wavelet 変換の場合、ハードウェアの制限により  $8 \times 8$  ピクセルから計算をスタートするので、最大4次まで計算可能である。このようにして、Wavelet 係数が得られる。

- ・1次では、LL1, LH1, HL1, HH1 (分解能  $8 \times 8$  ピクセル)

- ・ 2次では、LL2,LH2,HL2,HH2 (分解能 4×4 ピクセル)
- ・ 3次では、LL3,LH3,HL3,HH3 (分解能 2×2 ピクセル)
- ・ 4次では、LL4,LH4,HL4,HH4 (分解能 1×1 ピクセル)

この時の分解能は、1次や2次の場合は、低周波成分、すなわち、砂浜の画像のうち比較的なだらかな、平面に近い部分が検出され、4次の場合では、一番高周波成分である礫や小石部分が検出される。

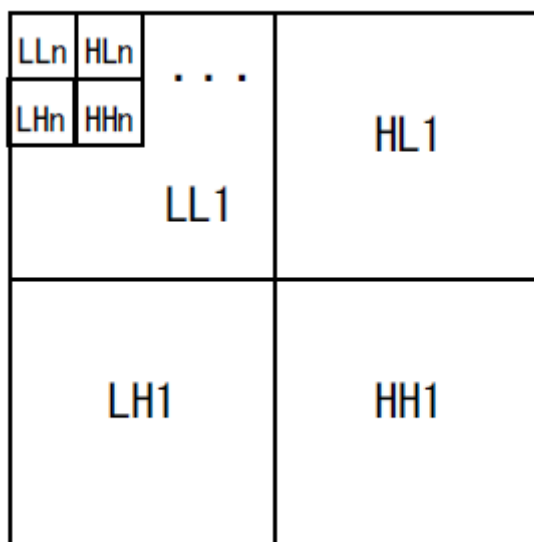


図 4-3 Haar (ハール) Wavelet 変換

複数の砂浜画像と Wavelet の次数や 2 値化パラメータを検討した結果、4 次の離散 Wavelet 変換を行い、閾値を設定することで特徴点数が十分な数取得でき、かつ画面全体に一様に分布している特徴点の分布を得ることが出来ることが分かった。対する対応点は、正規化相互相関を使った 32 x 32 ピクセルのテンプレートマッチングで求めることにした。誤って抽出してしまった対応点は、明らかに間違っているものを三次元位置計算により自動で取り除く。このようなプロセスを取ることで、特徴点の抽出が目視による作業に比べて効率的に行えることを確認できた。

対応点の検索は、テンプレートマッチングにより行う。特徴点の周辺をテンプレートとして、比較画像から正規化相互相関 (NCC) により一致している(x,y)座標を求める。三次元計測に求められるテンプレートマッチングについてのブロック図は図 4-4 の通りである。

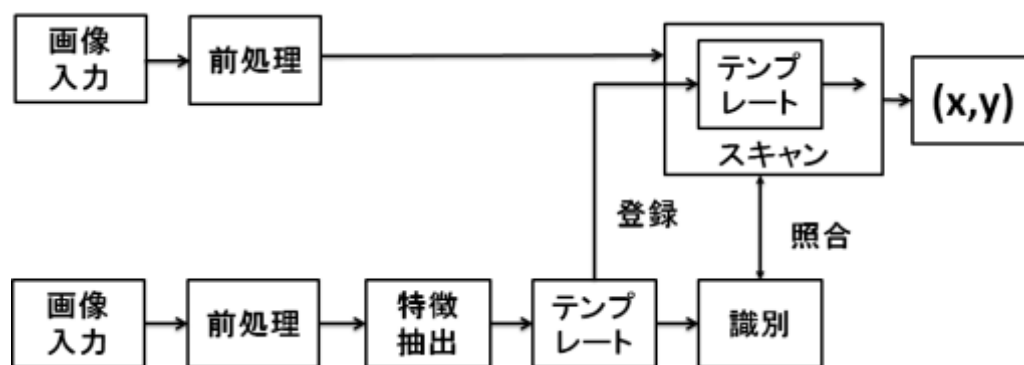


図 4-4 三次元計測に求められるテンプレートマッチング



### 4. 3 Wavelet 特徴による特徴抽出

離散 Wavelet 変換による多重解像度解析は、多くの空間周波数領域を利用するアプリケーションにおいて、ウィンドウ生成や離散フーリエ解析といった手法に取って代わるすぐれた手段の 1 つである。一方、順方向二次元 Wavelet 変換については、空間内にあるいくつかの関数をもとにして 1 つの画像を分解することと見なすことができる。また、Wavelet 変換はサブバンドでのフィルタリングや再サンプリングにも関係がある。本章では、実際に使用した画像処理用インテル® IPP ライブラリに実装されている二次元離散 Wavelet 変換 (DWT) 関数について説明する。画像処理用 IPP ライブラリには、1 レベル離散 Wavelet の分解関数 (変換関数) と再構成関数 (逆変換関数) が含まれている。変換コンテキスト構造体の初期化と割り当て解除に必要なインターフェイスも用意されている。インテル IPP ライブラリの Wavelet 分解関数/再構成関数は高速多相アルゴリズムを使用する。これは、切り離し可能なたたみ込みと二項再サンプリングを別の順序で行う従来の方法と同じである。Wavelet に基づいて画像を分解する際のアルゴリズムは、図 4-5 の通りである。

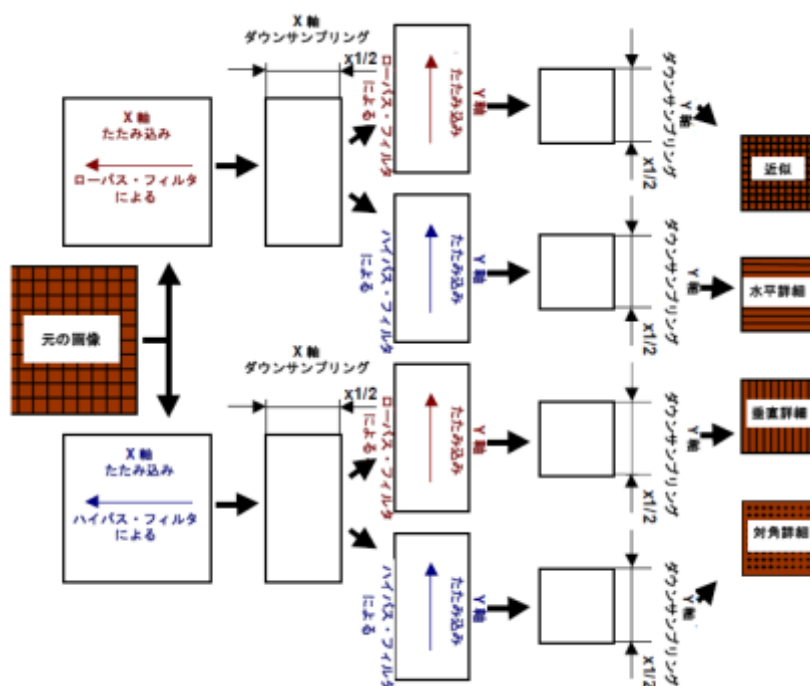


図 4-5 Wavelet 分解アルゴリズムの等価図 (インテル® IPP マニュアルより引用)

画像を二次元離散 Wavelet 変換すると、「近似画像」、「水平詳細画像」、「垂直詳細画像」、「対角詳細画像」というサイズと同じ 4 つの出力画像が得られる。それぞれの画像は、次のように得られる。

- ・ 「近似画像」は、垂直方向と水平方向にローパス・フィルタをかけて得られる。
- ・ 「水平詳細画像」は、垂直方向にハイパス・フィルタをかけ、水平方向にローパス・フィルタをかけて得られる。
- ・ 「垂直詳細画像」は、垂直方向にローパス・フィルタをかけ、水平方向にハイパス・フィルタをかけて得られる。
- ・ 「対角詳細画像」は、垂直方向と水平方向にハイパス・フィルタをかけて得られる。

これらは画像を区別するのに便利なので上記の画像名を使用する。本章では、得られたいくつかの画像を用いて、閾値処理により特徴点の抽出を行っている。

砂浜の自然画像においては、4次の離散 Wavelet 変換により、特に縦横の対角詳細画像を用いることで、バランスよく特徴点が分散し、三次元計測に使用できることが分かった。実際の中田島砂丘の礫部、植生部、風紋部について特徴点抽出を行い、三次元再構成を行った。礫や植生部は、離散 Wavelet 変換による画像特徴点からの正規化相互相関による対応点検索により対応点が見つかりやすいことがわかった。しかしながら、風紋部の画像は、離散 Wavelet 変換による特徴点による正規化相互相関では、繰り返しのパターンのため対応点検索が失敗してしまう例が多かった。

4. 4節では、礫部画像、植生部画像、および風紋部の画像において対応点検索がうまくいった事例について記述する。

## 4. 4 砂浜における実際の計測例

### 4. 4. 1 礫部画像からの三次元再構成事例

実験に使用した中田島礫部の画像は図4-6の通りである。ゴミや礫が特徴となる礫画像では4次のWavelet特徴変換により特徴が抽出できることがわかった。そこで、Wavelet変換による特徴点抽出を行い、正規化相互相関(NCC)により得られた対応点により三次元再構成を行った。特徴点抽出および対応点の抽出に使用した主要パラメータは表4-2に示している。図4-7には、実験に使用した中田島礫部の画像からの角度ヒストグラムと距離ヒストグラムを示している。取得した元画像の特徴点と視差画像の対応点の画像上の位置関係を用い、どちらの方向を向いているかの回転角度の情報を積算したものを角度ヒストグラムと呼び、さらに、特徴点と対応点の画像上の位置関係が何ピクセル分、離れているかの情報を積算したものを距離ヒストグラムとここでは呼んでいる。このヒストグラムを利用し、ヒストグラムのピーク位置を調べれば、二つの画像の視差が何ピクセルあるかが調べられる。図4-7において、ポップアップされたWindowの上側グラフが角度ヒストグラムであり、下側グラフが距離ヒストグラムである。距離ヒストグラムのグラフを調べると視差が50ピクセルあることが判った。この実験に使用した中田島礫部の画像から得られた特徴点と対応点の例は図4-8に、取得した実験に使用した中田島礫部画像からの三次元形状データは図4-9に示している。



図4-6 実験に使用した中田島礫部の画像

表4-2 特徴点抽出および対応点に抽出に使用したパラメータ

パラメータ	値
Wavelet 次数	4
Wavelet 検出方向	縦横(対角)
閾値Min	17
閾値Max	23
特徴点数	1836
NCC エリア	32x32
NCC アルゴリズム	Gray-Pramid

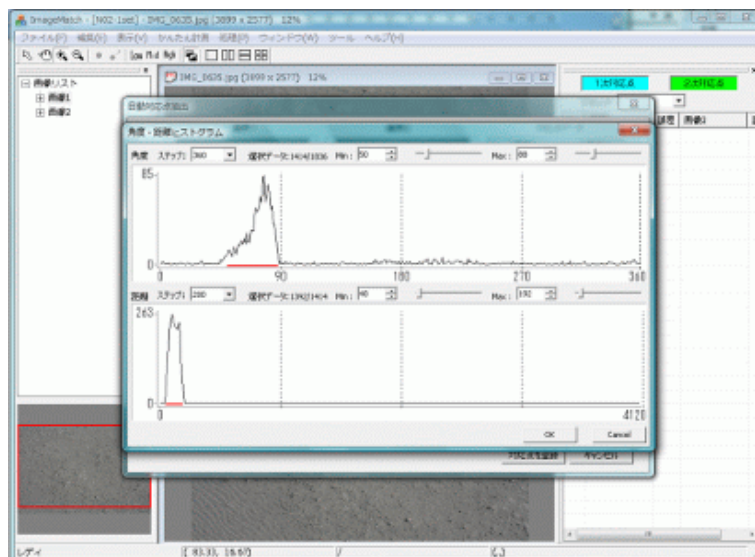


図 4-7 実験に使用した中田島薬部の画像からの角度ヒストグラムと距離ヒストグラム

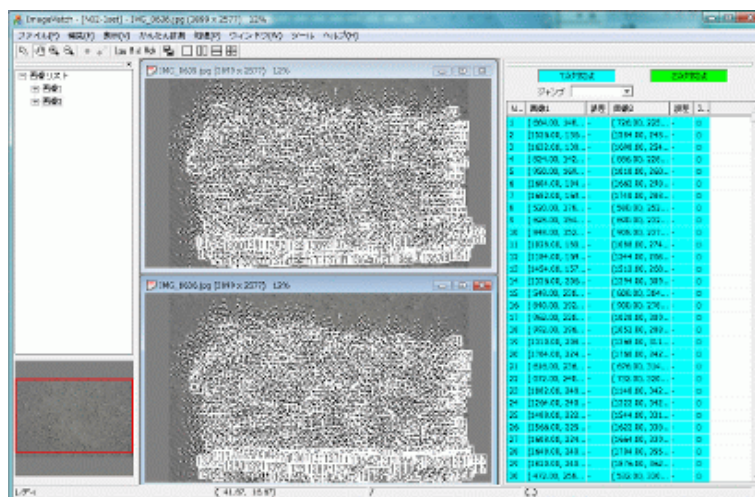


図 4-8 実験に使用した中田島薬部の画像から得られた特徴点と対応点

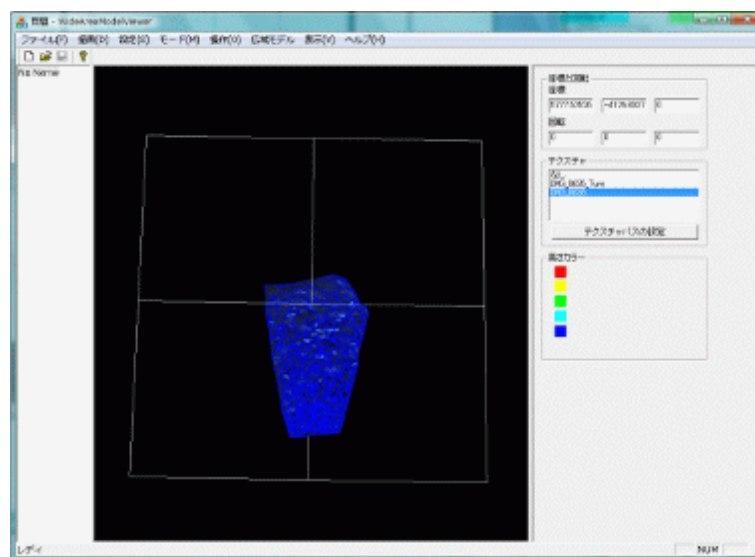


図 4-9 得られた中田島薬部の三次元形状データ

#### 4. 4. 2 植生部の画像からの三次元再構成事例

植生部画像は変化が大きく、4次の Wavelet 特徴変換により特徴点が抽出できることがわかった。実験に使用した中田島植生部画像（冬期）は図 4-10 に、特徴点抽出および対応点抽出に使用したパラメータは表 4-3 に示している。また、実験に使用した中田島礫部の画像からの角度ヒストグラムと距離ヒストグラムは図 4-11 に、実験に使用した中田島礫部の画像から得られた特徴点と対応点は図 4-12 に、そして、実験に使用した中田島礫部の三次元形状データは図 4-13 である。

ゴミが多いため、カメラの位置関係から計算される特徴点と対応点の位置の拘束条件（エピポーラ線という非線形の線分）からの垂線を誤差と定義し、このデータを計算し、10ピクセル以上ずれがあるものは消去した。ヒストグラムからの抽出時に多少低い回転角をとれば領域は広がった可能性はある。



図 4-10 実験に使用した中田島植生部画像（冬期）

表 4-3 特徴点抽出および対応点に抽出に使用したパラメータ

パラメータ	値
Wavelet 次数	4
Wavelet 検出方向	縦横(対角)
閾値Min	16
閾値Max	19
特徴点数	1118
NCC エリア	32x32
NCC アルゴリズム	Gray-Pramid

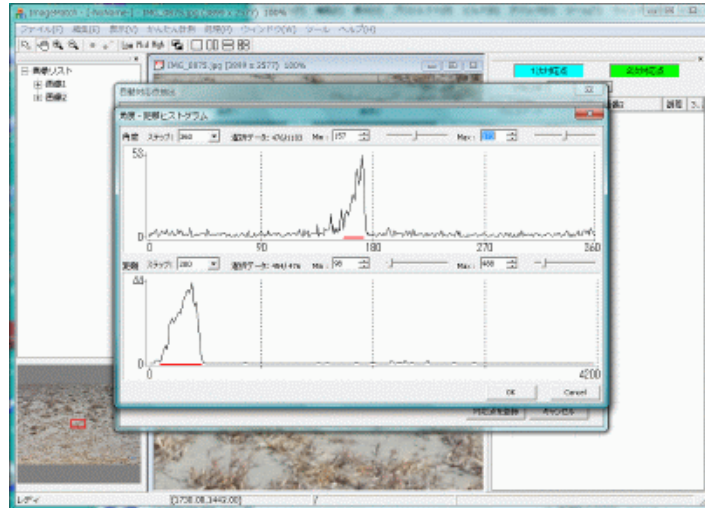


図 4-1-1 実験に使用した中田島植生部の画像からの角度ヒストグラムと距離ヒストグラム

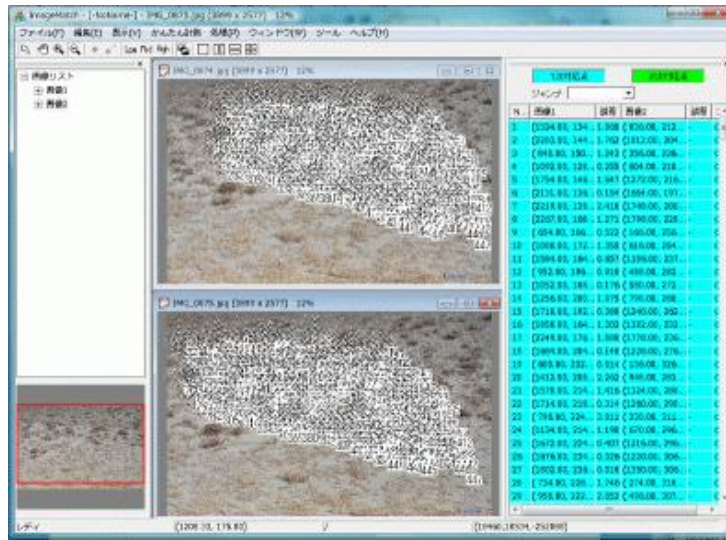


図 4-1-2 実験に使用した中田島植生部の画像から得られた特徴点と対応点

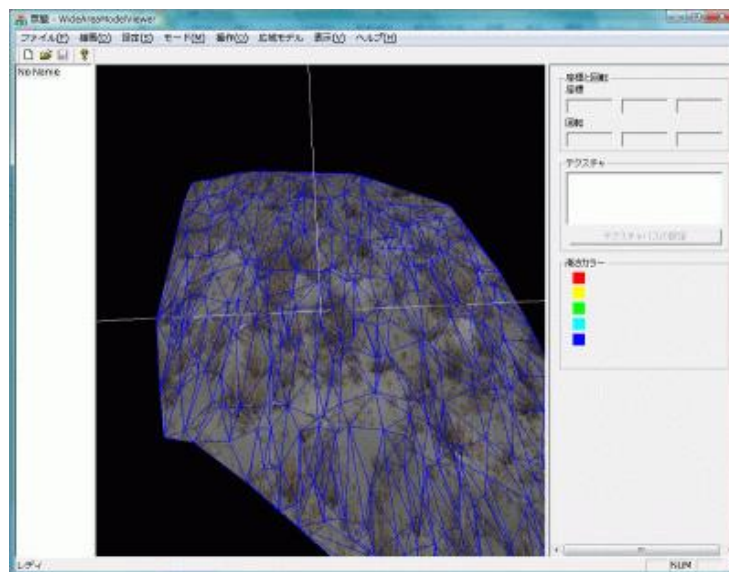


図 4-1-3 得られた中田島植生部の三次元形状データ

### 4. 4. 3 風紋画像からの三次元再構成事例

特徴が連続的に変化する風紋部画像については現状の誤差の評価方法による誤対応点除去法や正規化相互相関による全画面検索手法では難しいと考えられる。しかしながら、風紋部画像の三次元形状取得に成功した例もあったので風紋部画像での例を示す。実験に使用した中田島風紋部画像は図4-14に、特徴点抽出および対応点に抽出に使用したパラメータは表4-4に示している。実験に使用した中田島風紋部の画像からの角度ヒストグラムと距離ヒストグラムは図4-15に、実験に使用した中田島風紋部の画像から得られた特徴点と対応点は図4-16に、そして、実験に使用した中田島風紋部画像からの三次元形状データは図4-17に示している。



図 4-14 実験に使用した中田島風紋部画像

表 4-4 特徴点抽出および対応点に抽出に使用したパラメータ

パラメータ	値
Wavelet 次数	4
Wavelet 検出方向	縦横(対角)
閾値Min	17
閾値Max	23
特徴点数	1758
NCC エリア	32x32
NCC アルゴリズム	Gray-Pramid

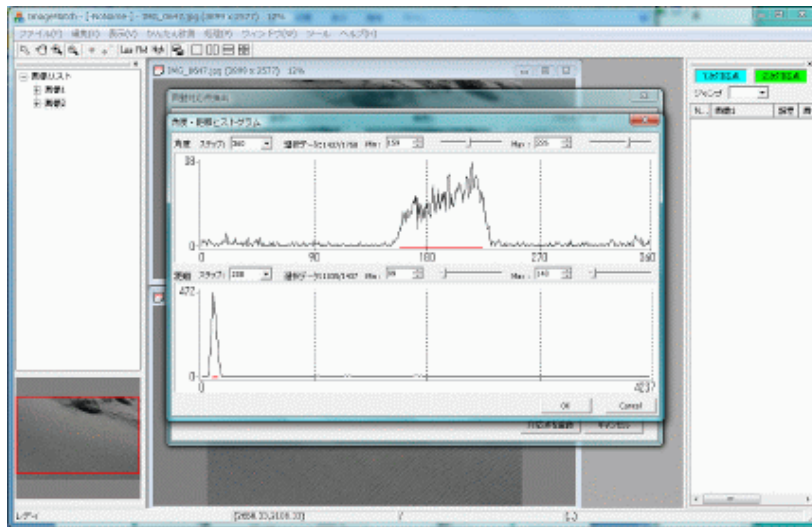


図 4-15 実験に使用した中田島風紋部の画像からの角度ヒストグラムと距離ヒストグラム

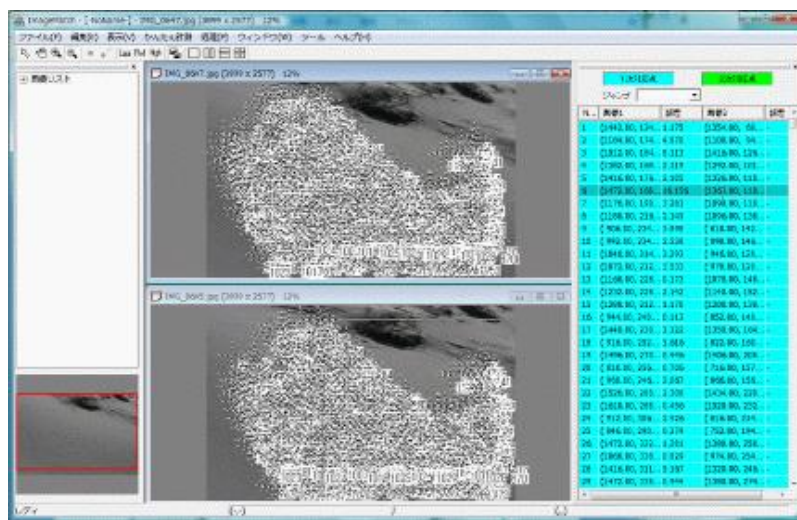


図 4-16 実験に使用した中田島風紋部の画像から得られた特徴点と対応点

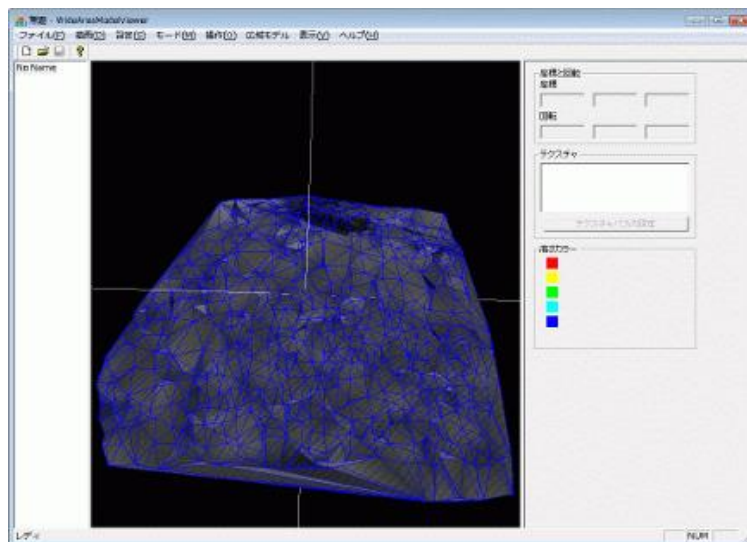


図 4-17 得られた中田島風紋部画像からの三次元形状データ



#### 4. 4. 4 特徴点の追加取得事例

計測時の都合によっては、遠州灘に面した中田島砂丘前面の浜松篠原海岸などの広い領域を一画面内に納めて撮影して再構成する必要がある場合があり、この場合、取得形状の空間分解能が近方に比して遠方が不足する問題が生じるが、画像上の遠方領域を指定して Wavelet 特徴点の取得閾値と次数を変更、追加取得し、対応点を再度追加することで、必要に応じて空間分解能を増加させる手法を開発することによって解決出来た。追加前の形状計測点は図 4-18 に、追加後の形状計測点は図 4-19 に示している。

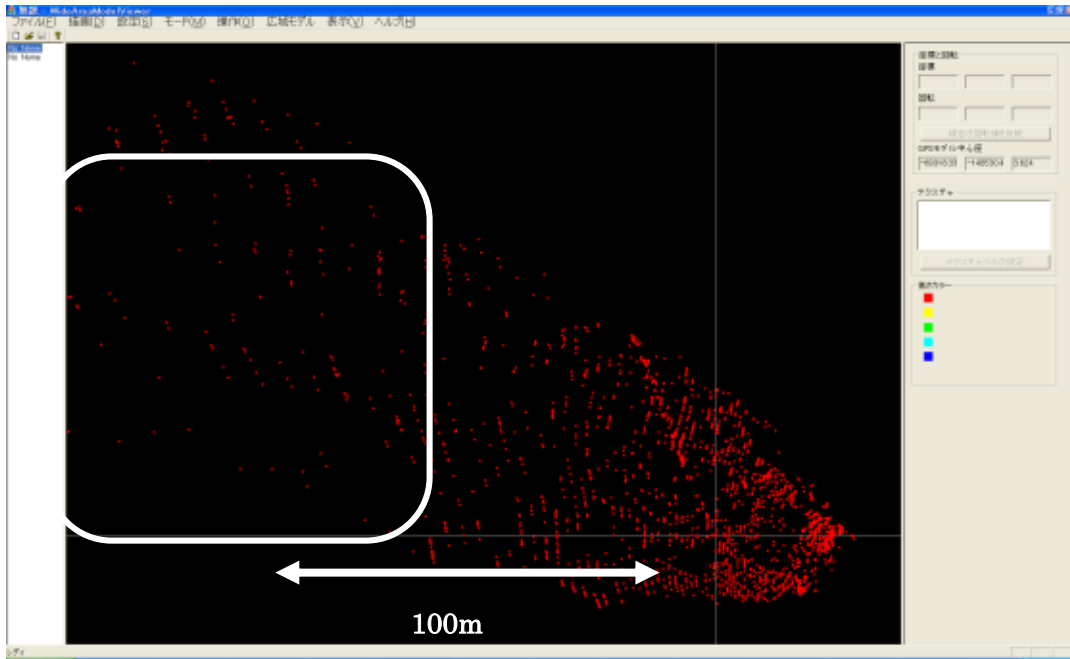


図 4-18 点群データ表示（1回取得の三次元化結果 2490点）

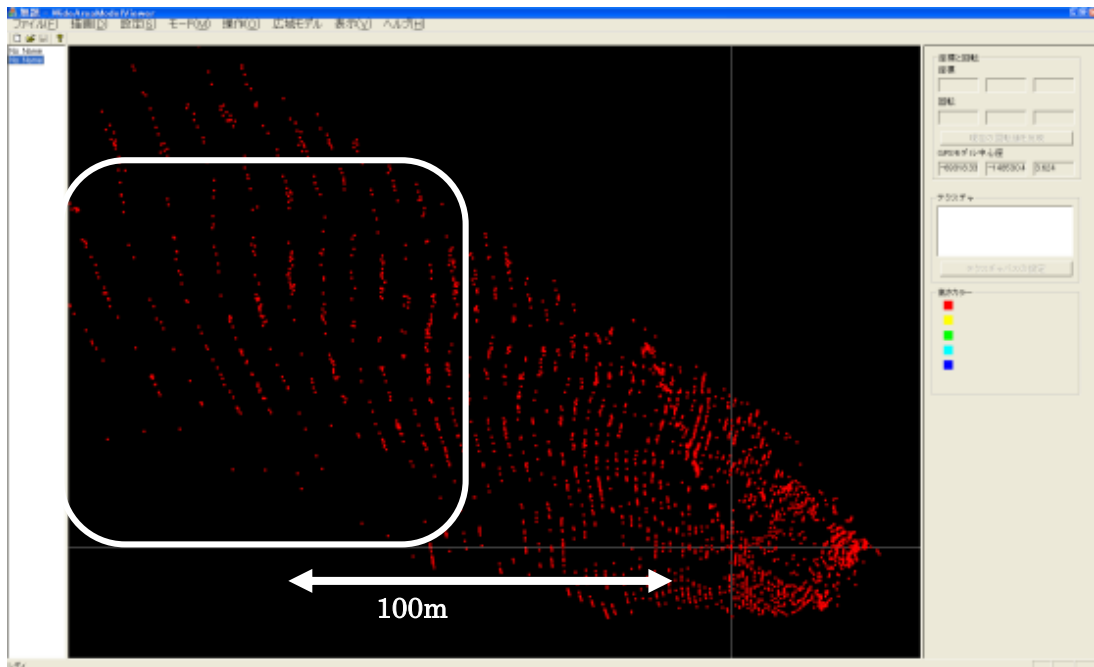


図 4-19 点群データ表示（1回取得+関心領域変更し特徴点閾値値変更取得して対応点自動取得し三次元化 2490点+890点）

#### 4. 5 地形形状計測のための特徴点抽出のまとめ

砂浜の画像からの特徴点の抽出は、一般的な三次元計測で使われる物体のエッジ、直線や、交点を検知する Harris コーナー検出器などの人工物対象の特徴点抽出アルゴリズムでは不十分である。

三次元地形形状計測のための特徴点抽出には、

- a)砂浜のなだらかさや礫や小石のエッジ画像の輝度変化を特徴として抽出すること。
- b)形状を再現するため、取得する特徴点が少なくとも数 1000 点以上あること。
- c)特徴点が、画像にもよるが、数 10cm 間隔で画像全体にメッシュ状に一様に分布していること。

の 3 条件を満たすことが必要である。アルゴリズムを検討した結果、4 次の離散 Wavelet 変換にて特徴点の抽出を行い、正規化相互相関を使った 32 x 32 ピクセルのプレートマッチングで対応する点を求めることができた。場合によっては、撮影時の条件により、前処理の段階でコントラストを向上させたりする必要がある。

中田島砂丘の礫部画像、植生部画像、風紋部画像について三次元再構成を行い、各画像から形状が取得できることがわかった。礫部画像や植生部画像は、Wavelet 変換による画像特徴点からの正規化相互相関による対応点検索により対応点が見つかりやすいことが判明した。

砂丘の画像において特徴点抽出時における課題としては、輝度情報がなだらかに変化する、新しく砂が降り積もった部分および風紋部である。輝度情報がなだらかに変化する、新しく砂が降り積もった部分では、Wavelet 変換の次数を下げることで特徴点を抽出することができる。風紋部分においても、非接触で地形形状を再現することができる。

また、形状計測において特徴点が不足する場合に、遠近において、特徴点を Wavelet により抽出する時のサンプリング次数を変更して追加で抽出することにより、特徴点数を調整できる。

以上により、特徴点が自動で抽出できるようになった。次節では、本技術を使った三次元計測について説明する。

#### 4. 6 地形形状計測技術の背景

従来の砂浜の地形形状システムの周辺技術としては、トータルステーションを用いる三角測量[73]を始め、超精密な RTK-GPS による測量[74]、あるいはレーザースキャナーによる測量[75]があり、さらにデジタルカメラを用いた写真測量[76]がある（表4-5）。写真測量はデジタルになる前から行われており、半世紀以上の歴史のある広く知られた技術である。これらの地形形状計測技術は、測量士の測量業務の中に含まれており、目的によって選択され、用いられている。

ちなみに測量士の資格は、単独で基本測量、又は公共測量を実施できる者であり、測量士補は、測量士の監督・指導の下、基本測量又は公共測量に従事できる者である。それらの試験には写真測量もその選択科目に含まれている。平成22年3月31日現在、測量士として登録している者は合計223,529名、測量士補として登録している者は合計484,975名に達しており、日本において約70万人以上の方が測量業務に携わっており、それらの方は写真を用いた写真測量についても試験に合格しており、業務に必要な程度の知識を持っている。すなわち、写真測量は、一般的なレベルの汎用形状計測技術であるといえる。

従来の写真測量ソフトウェアでは、基本的には目視により複数画像からの特徴点と対応点を得て、三次元再構成アルゴリズムにより位置を求める。この時、画像認識技術による特徴点とその対応点の抽出が自動でできれば、使いやすい地形形状計測システムを提案することができる。そこで必要となるのは、精度の高い複数画像からのバンドル法[25]-[33]による三次元再構成アルゴリズムのソフトウェア実装である。

これら写真測量技術の課題を解決すれば、測量業務に関わっている人々に対し、地形形状計測を自動でできる、使いやすいシステムを提供できることになり、事業としての可能性が飛躍的に高まると考えたのである。

表4-5 砂浜形状計測の方法

方式	特徴	砂浜の計測時の課題	装置価格 (平均)
三角測量	広く普及	1点ごと計測(1箇所5分)なので、相当な時間がかかる。測量士資格必要	300万円
GPS 測量 (高精度)	簡単に計測できる 世界座標系	1点ごとに計測(1箇所3分)なので、相当な時間がかかる。地形形状測るにしても一次元的である。	2000万円
レーザー測量	1度に大量の点を計測可能(10000箇所計測に30分かかる)	面で計測可能だが、平面を3次元で合成することが難しい。 三次元ソフトウェアのスキル必須	1000万円～ 3000万円
写真測量	・データの取得が容易(5分で10000箇所以上可能)	面で計測可能だが、目視による特徴点、対応点の取得が難しい、煩わしい、めんどくさい。	5万円(カメラ)+ソフト

## 4. 7 地形形状の計測

画像認識技術を応用した画像の特徴点抽出と対応点検索を使った砂浜の三次元地形形状計測技術により、砂浜の短期的地形変化の計測を行った。

従来から用いられてきた地形測量では測量準備とデータ処理に時間を要することから、高波浪時前後などにタイミングよく測量を行うことが困難であった。このため、近年、定点カメラ画像を解析する手法が開発された[41][42]。しかし、海浜変形調査では、写真画像の定性的情報のみでなく、定量的なデータの取得が必要とされる。

従来の画像解析でも汀線変化は明らかにすることは可能だが[43]、海浜の三次元的地形変化の把握は困難であった。また、定点カメラには電源と LAN の設備が必要であり、背後地から海岸までの距離が長い場合、計測器の設置が困難であった。これらの課題に対し、可搬型三次元計測システムを開発し、それを用いて波浪条件の変化に起因する前浜～後浜の地形変化を把握し、高波浪時の砂浜の土砂動態を定量的に測定可能な手法を開発した。ここでは、本システムが遠州灘に面した浜松篠原海岸で試験運用され、実用に供しうることを明らかにする。

### 4. 7. 1 地形形状計測システムの概要

地形形状計測システムは、視差画像取得のための設置地点上高さ 3m の位置から撮影が可能な可搬型撮影架台と、市販のデジタルカメラ、そして取得画像を三次元地形データに変換するソフトウェアにより構成される。架台は、海岸や砂丘などのフィールドで三次元地形データ取得に必要な複数視点からの観測が短時間でできるよう、容易に設置・運搬が可能な構造である（図 4-20）。可搬型撮影架台の仕様は表 4-6 の通りである。

画像取得から三次元地形データ表示までの一連のシステムワークフローを図 4-21 に示している。まず、カメラ画像の歪補正パラメータをカメラ歪補正データ取得ソフトウェア（Camera Calibrator）により取得する。このソフトウェアでは、補正用チャートを複数の視点から撮影した画像を用いて自動的に画像歪パラメータを取得することができる。次に、特徴点抽出-対応点検索ソフトウェア（FPDetector）を用いて、現地で撮影された左右の視差画像より Wavelet 変換による特徴点抽出が可能な閾値パラメータをトライ&エラーで取得する。引き続きデータ取得ソフトウェア

（ImageMatch）を用いて CameraCalibrator により得られた画像の歪補正パラメータにより計測画像の歪補正を行い、この画像を用いて FPDetector により得られた閾値パラメータにより特徴点抽出を行う。この特徴点に対して、正規化相互相関により別画像で各特徴点周辺の部分画像をテンプレートとして対応点検索を行う。検索計算終了後、左右画像の 2 点の対応点の方向ベクトルの角度・距離ヒストグラムを表示させ、それぞれの対象領域のピークを選択して対応点リストに登録する。

その後、得られた対応点を用いてバンドル調整[25]-[33]を行い、具体的には Mikahail の高速化非線形最小二乗法[34]によりカメラ位置を算出し、各対応点の三次元位置を取得する。最終的に得られた三次元データを ImageMatch ソフトウェアの三次元表示機能により表示し、形状を確認する。三次元形状が適切でない場合は左右画像の対応点の不一致が考えられるので、この場合はカメラ位置から計算される左右画像の各対応点のエピポーラ線からの垂線距離による誤差評価値を利用し、誤差の大きな対応点を自動もしくは手で消去することにより修正する。

なお、解析画像に GPS データにより絶対位置を与える場合は、ImageMatch の三次元正規化機能によりコントロールポイントを 3 点指定することで設定が可能である。可搬型三次元計測システムの精度

は表 4-7 の通りである。以上の手順で得られた三次元データは、データ表示ソフト

(WideAreaModelViewer) により高さ方向の標高モデル DEM (Digital Elevation Model) データに変換後、等高線表示や 2 時期の差分データからの土砂量算出を行うことができる。さらに、汎用 CAD 用のデータに出力も可能である。また、本システムは 200m 四方の現地計測 (1 地点からの撮影) の場合、画像取得 1 分、計算処理 1 時間と計測処理時間が短いことが特徴である。



図 4-20 可搬式定点撮影システム

表 4-6 可搬型撮影架台の仕様

撮影架台	デジタルカメラ入力用
特長	単眼視とステレオ視のカメラ座の交換が可能
	撮影時にライブモニター可能、リモートシャッター可能
	カメラ座の360度、手動回転が可能
カメラ設定高さ	3000mm (地上面より)

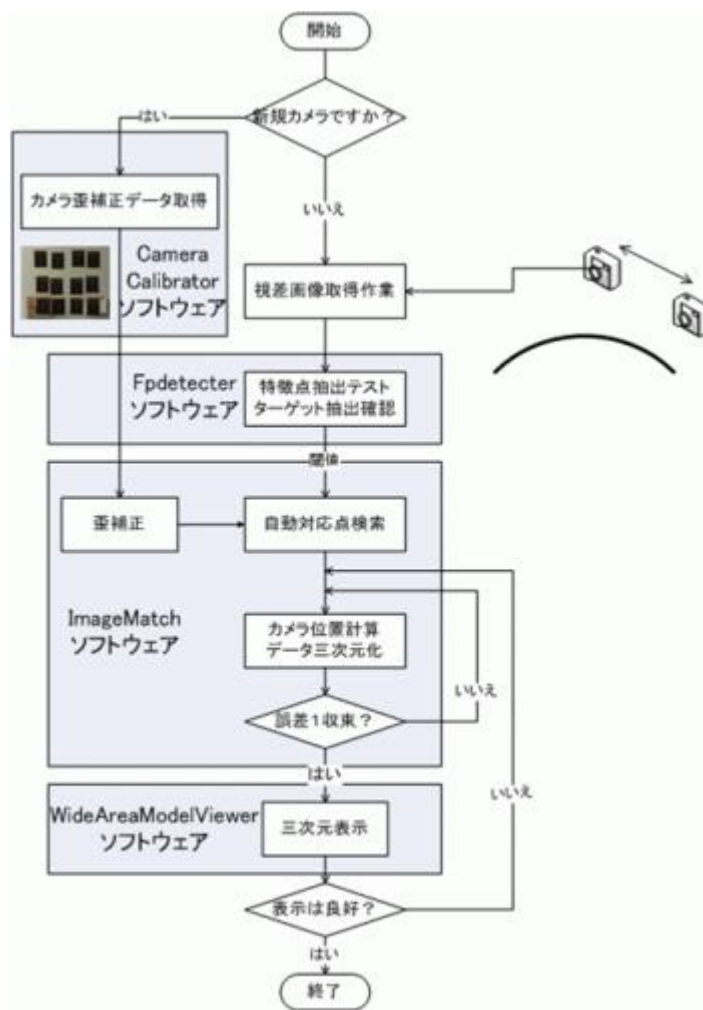


図 4-21 画像取得から 3 次元データ表示までのワークフロー

表 4-7 可搬型三次元計測システムの精度

デジタルカメラ	Nikon D90 (28mmレンズ使用の時)
キャリブレーション精度 (システムの限界性能サブピクセル解像度)	距離の 1/56000 (0.11画素) 例: 距離 100m, ±2mm
自動対応点検索時の相関計算の最小ステップ	最小1画素
実用的な自動対応点検索時の収束条件 (誤差評価値 ±5画素の時)	距離の 1/1000 (±5画素で収束させた場合) 例: 距離 100m, ±90mm

#### 4. 7. 2 地形形状計測システムの検証(養浜効果の検証)

開発した三次元計測システムを用いて遠州灘浜松篠原海岸において短期的な海浜変形のモニタリングを行った。具体的には、2010年9月から11月までの期間において定期的な画像取得と解析、現地踏査、底質調査を行い、波浪条件の変化に応じた前浜の地形変化を調べた。長嶋らの調査による[61]と、浜松篠原海岸は天竜川からの土砂供給の激減により1962年から2005年までに著しく侵食されたが、石川らの報告による[62]と、その後3基の離岸堤と礫を含む養浜材の継続的な投入により砂浜が回復しつつある海岸である。

定点写真は盛土状の養浜天端より西向きに撮影した(図4-22)。観測期間中の9月の波浪(竜洋観測所)と潮位(舞阪)の経時変化と撮影日は図4-23の通りである。9月8日、9月25、26日にそれぞれ台風9号、12号による高波浪が来襲している。



図4-22 盛土状の養浜天端より西向きに定点写真を撮影

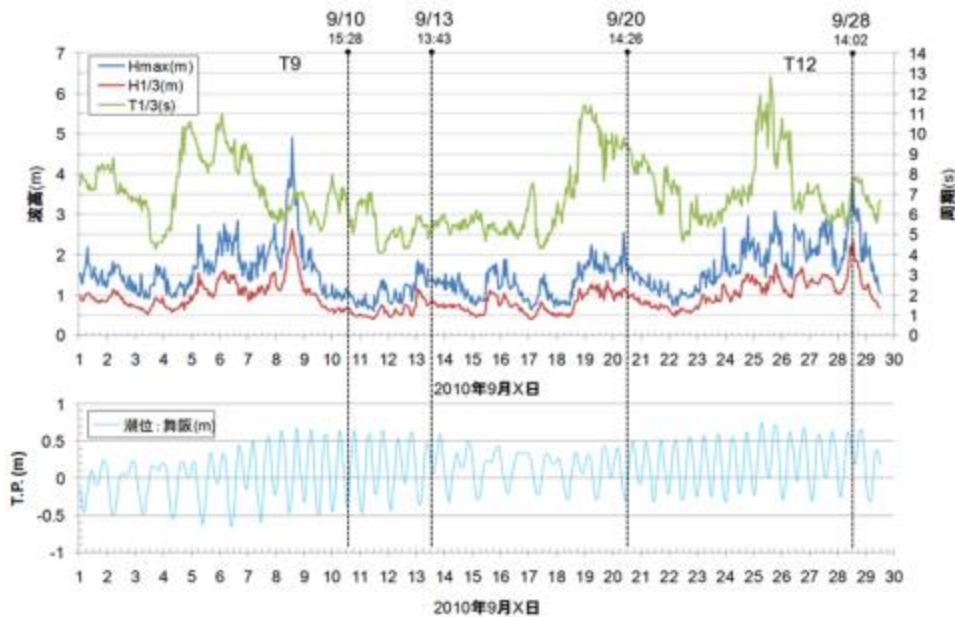


図4-23 観測期間中の9月の波浪(竜洋観測所)と潮位(舞阪)の経時変化と撮影日

台風 9 号、12 号ともに潮位は同程度であるが、台風 9 号は  $H1/3=2.6\text{ m}$ 、 $H_{\text{max}}=5\text{ m}$  と波高が高く、周期が  $T=7\text{ s}$  程度と比較的短い波浪であったのに対し、台風 12 号の場合は、波高は低いが周期が  $T=12\text{ s}$  程度と比較的長い波浪であった。図 4-23 の撮影日に対応する定点写真は図 4-24 である。

細砂中砂で構成されていた海岸に礫が投入されたことで、浜の前方には大礫によるカスプ（石の集まり）状のバーム（盛り上がり部）が発達している。9 月 10 日には沿岸方向に礫バームが発達し、浜の後方には台風 9 号による高波浪の遡上痕が確認できる。その後の 9 月 13 日、20 日にかけては礫バームに大きな変化は見られず、また浜の後方の遡上痕は全く変化していないことから、この間に浜の後方にまで遡上する高波浪がなかったことが定点写真からも分かる。このように 9 月 10 日以降、海浜はほとんど変化していないが、台風 12 号来襲後の 9 月 28 日には、浜の後方近くまで礫が広がる一方で、写真手前側の前浜では礫バームがなくなった。また、浜の後方の遡上痕は砂丘前面まで押し込まれた。

9 月 10 日



9 月 13 日





9月20日



9月28日



図4-24 図4-21の撮影日に対応する定点写真

以上のような海浜状況の変化に対し、開発したシステムにより地形変化解析を行った。解析を行うにあたっては、まずシステムの精度の検証およびキャリブレーションとしてRTK-GPS測量(リアルタイムキネマテックGPS)による実測値との比較を行った。9月10日の測量データと本システムによる地形データのキャリブレーション結果は図4-25の通りである。撮影地点からの距離250mまでの範囲(56地点)の標高差は±39cmであり、海岸の短期的な地形変化を簡易的に解析するには十分な精度と判断される。

一方、撮影地点からの距離150mまでの範囲(36地点)の標高差は±23.7cmであり、図4-25に示すように撮影地点に近い範囲の解析結果は精度が高い。したがって、解析では150m以内の結果を対象に考察を行うものとした。なお、可搬型撮影架台は撮影位置を自由に移動できるので、撮影点を増やすことや計測領域を狭めることで精度向上を図ることができる。

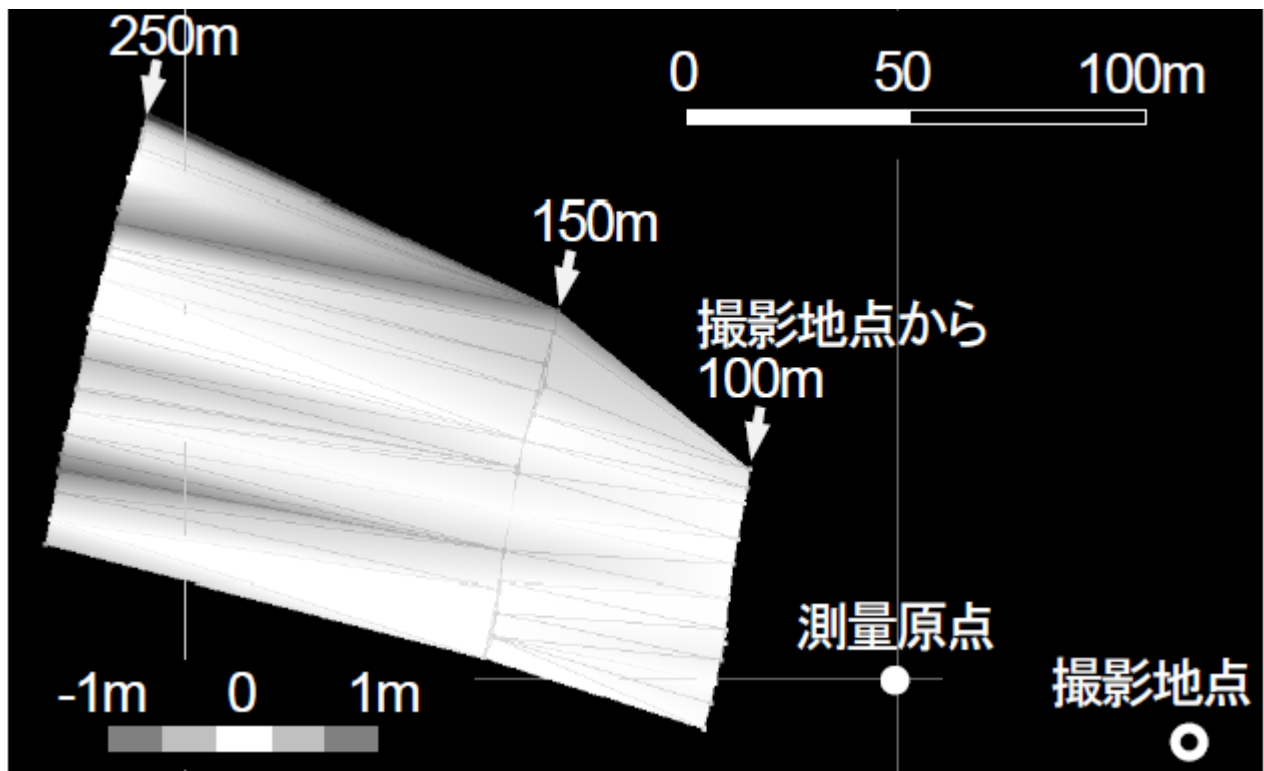


図4-25 9月10日の測量データと本システムによる地形データのキャリブレーション結果  
RTK-GPS 測量値との比較

2010年2月に撮影された空中写真上に重ねた9月10日の幾何補正後の画像と地形データは図4-26の通りである。礫バームは標高1.5m程度に分布し、また後浜高はT.P.+3~4mで、図4-23で確認された遡上痕は最大T.P.+3mにあり、台風9号による高波浪の遡上高は最大T.P.+3mであったことが分かる。

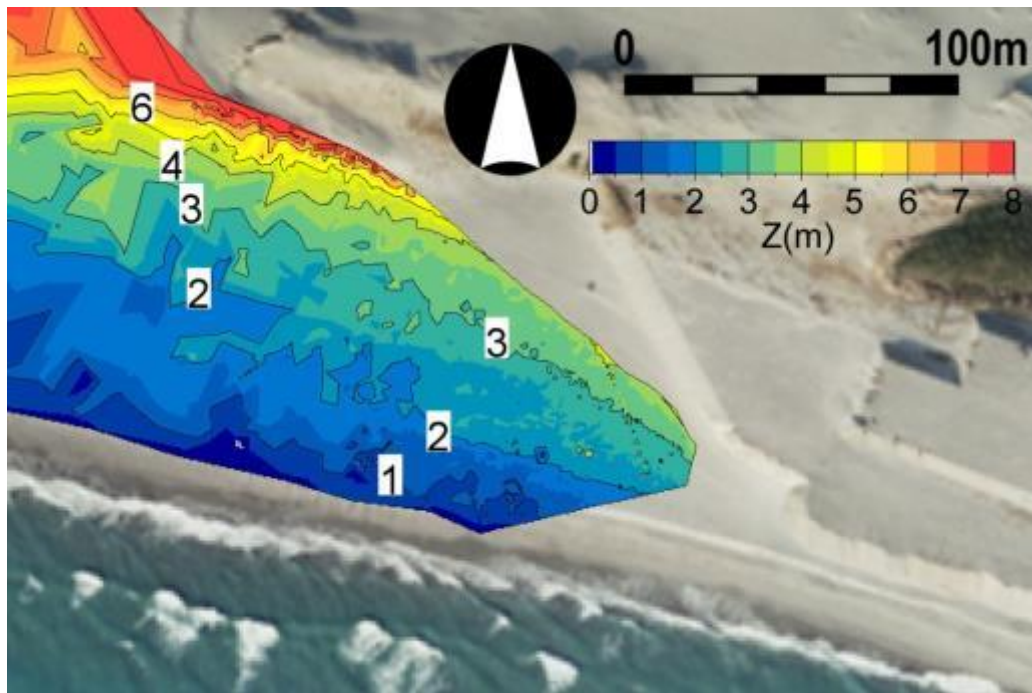
9月13日、20日、28日の幾何補正後の画像と各地形データより算出した地形変化量は図4-27、図4-28、図4-29に示している。地形変化量図の黒枠は撮影地点から150mの範囲を示している。9月10日~13日ではほとんど地形変化はみられない。9月13日~20日では撮影地点から離れた箇所のバーム付近で堆積がみられるが、解析精度の高い150m範囲の地形変化は小さく、定点写真から判読したように9月10日~20日では海浜はほとんど変化していないといえる。

一方、台風12号来襲後の9月28日では標高2mを境に浜の前方が侵食される一方、浜の後方では数十cm厚の堆積が生じた。このような地形変化は、9月28日の定点写真では礫が広く露出し、かつ写真手前側で発達していた礫バームが消失したことと対応し、後浜での砂の堆積は台風による砂の打ち上がり（遡上痕が後退）と対応している。

以上より、台風12号のように波高が小さく周期が $T=12s$ 程度と比較的波長の長い波の作用時は、波高が高く周期が短い台風9号に比べて波の遡上高が高く、また、波の打ち上がりに伴い、浜の後方に砂が堆積したことが分かった。



(a)幾何補正後の画像データ(9月10日)

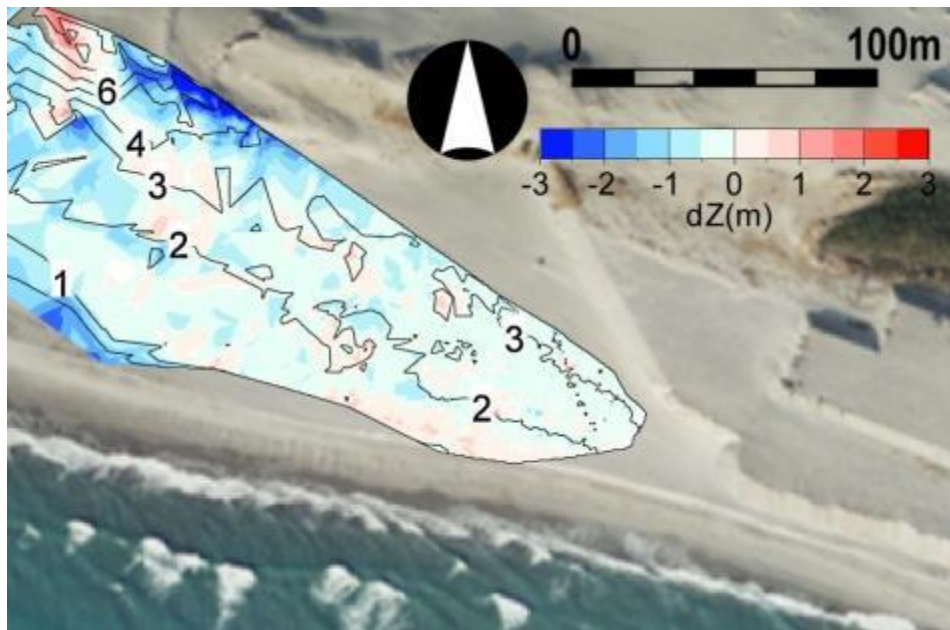


(b)9月10日の地形データ

図4-26 2010年2月に撮影された空中写真上に重ねた9月10日の幾何補正後の画像と地形データ



9月13日

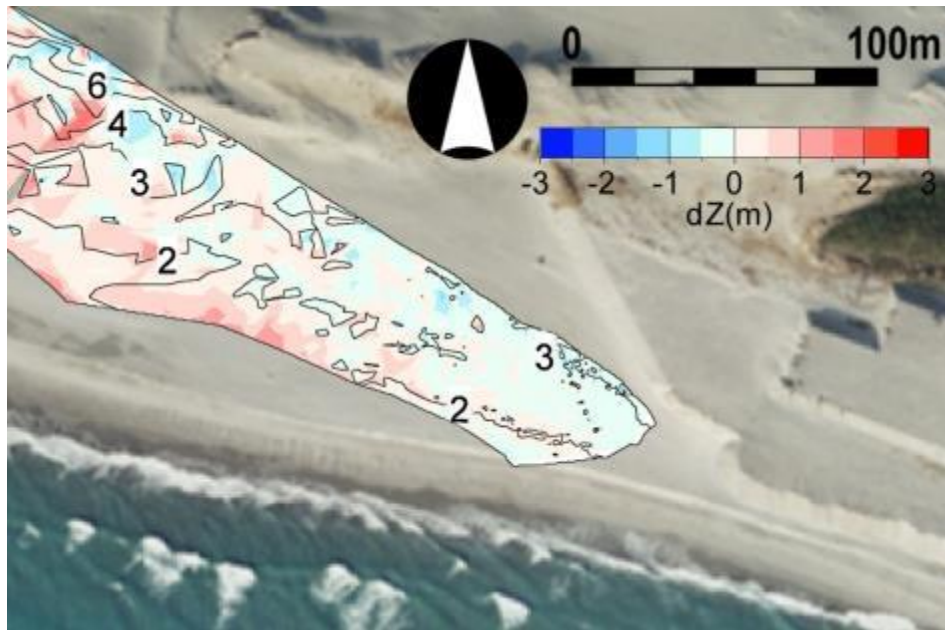


9月10日～13日の変化

図4-27 9月13日、20日、28日の幾何補正後の画像と各地形データより算出した地形変化量1



9月13日



9月13日～20日の変化

図4-28 9月13日、20日、28日の幾何補正後の画像と各地形データより算出した地形変化量2



9月28日



9月20日～28日の変化

図4-29 9月13日、20日、28日の幾何補正後の画像と各地形データより算出した地形変化量3

このような砂の堆積を確認するため、浜の後方に変化が起こる前の10月7日に現地踏査を行った。現地踏査では、図4-24に示すように撮影地点から約100m離れた位置の高波浪時の遡上痕跡に測点A、礫バームとAのほぼ中点の砂の堆積域にBを設定し、表層を掘削して海浜材料を採取した。

この結果、A、Bともに砂の堆積が確認された。例えば、Bでは図4-30に示すように矢印の先から始まる下層は上層と比べて黒いことからここに境界面があり、矢印先端より上層では最近14cm厚で砂が堆積したことが分かった。A、B地点の堆砂の粒度分析を行った結果、堆砂は中砂90%、細砂10%で構成され、 $d_{50}$ は0.35mmの一定値であった。これにより比較的長周期の高波浪の時、波は礫バームを越えて砂丘前面までうち上がり、これに伴い浜の後方に中砂が運び込まれたことが分かった。



図4-30 矢印の先から始まる下層は上層と比べて黒くなっている。境界面の写真

## 4. 8 まとめ

本章では、地形形状計測ソフトウェアの開発について説明している。このソフトウェアでは、砂浜など、従来計測が不可能であった地形でも特徴点を自動的に抽出し、地形形状の計測が可能である。

特徴点抽出アルゴリズムの検討を行った上で、Wavelet 変換による空間周波数領域を使って特徴点を抽出するソフトウェアを実装し特徴点が抽出できることを確認した。さらに、特徴点の周辺画像データをテンプレートとして、別画像からテンプレートマッチングで、よく使われている正規化相互相関アルゴリズムによる対応点を探す機能をソフトウェアに実装し、三次元化を行い良好な結果が得られた。本ソフトウェアにより、従来のステレオ画像の図化システムや写真測量システムに比べて高頻度で詳細な地形計測が行える。

さらに、本ソフトウェアを用いた可搬式定点撮影システムである、三次元地形形状計測システムを開発した。このシステムを用い、浜松篠原海岸を対象に砂浜変化のモニタリングを行った。この結果、撮影地点から 150m 以内の区域での解析精度は比較的高く、2つの台風が来襲した9月の解析結果より、高波浪が来襲しても礫は安定的に推移すること、また長周期の高波浪により、波の遡上とともに中砂が後浜に運ばれ堆積するなど、波浪条件に応じた短期的な地形変化を定量的、かつ短時間で把握することができた。

本システムでは、砂浜の堆積状況や海浜表面の粒度変化などの質的情報とともに定量的情報を短時間で取得することができることから、砂浜の高頻度なモニタリング手法の一つとして利用可能であり、従来出来なかった養浜の効果の検証も可能になった。本システムは、砂浜以外の様々な地形形状計測に応用可能であり、防災への応用も期待できる。次章では、地形形状計測ソフトウェアの事業化の検討を行う。



## 第5章 地形形状計測システムの事業評価と顧客開発

### 5.1 はじめに

第5章では、写真測量による三次元地形形状計測技術の要素技術を活用して行う事業の分析やその事業化について説明する。すでに本計測技術は完成しており、事業化の課題としては、いかに新しい顧客セグメントを見つけ、顧客ターゲットを絞り込み、そして本計測技術をベースとした製品を販売していくかを検討することである。

ここでは「既に関済済みの技術」の顧客セグメントとは別の顧客セグメントを探し、いかに顧客開発を行い、事業化していくかということが問題となる。この問題を解決するため、「BMO 法」による事業の分析と評価、マーケティング分析による顧客セグメントの発見、そして「ビジネスモデルキャンバス」によるビジネスモデルの仮説構築を行い、「顧客開発モデル」を通じて事業を確立していく。

土砂計測のニーズとしては、台風による大波など気象の影響による浸食が問題になっている海岸線の計測ばかりではない。近年は台風の豪雨による土砂災害が起きやすくなっており、昨年度だけでも天竜区春野町、熊本根子岳、伊豆大島など、土石流や土砂災害が立て続けに起きている。本技術を利用した製品は、このような土砂災害時に機動性を発揮し、離れた場所から地形や土砂量の計測が非接触で容易に行える機能を有している。また、土地の登記の際に使用する境界線の原始データの三次元表示化や、福島県での放射線量計測で明らかになった地形や建物による線量への影響へのシミュレーションなど、さまざまなアプリケーションに向けて、どのように仕様変更すれば写真測量による地形形状計測技術を使って貰えるか、市場調査を行っている。

また、顧客ニーズを検証するため顧客開発モデルを使用し、ビジネスモデルキャンバスを使って作成したビジネスモデルの仮説を作成した。そして、MVPを持って想定する顧客にインタビューを行った結果、仕様変更することにより地形の形状計測で使って貰えそうな感触が得られてきたため、事業化へ向けて作業している。

まずは、本技術が該当すると思われる、地理空間情報技術の可能性を検討する。

#### 5.1.1 地理空間情報技術について

地理空間情報技術は、国土やインフラの地理情報、自動車のプローブ情報といったビッグデータと、人工衛星やGPSから得られる測位情報などを組み合わせ、防災対策の高度化や新産業、サービスを生み出す次世代技術として注目を浴びている。図5-1に示すように、日本企業の国内外の地理空間情報技術関連市場は、新規サービスが成功した場合には、現在(2013年)の約20兆円から2020年には最大で3倍の62兆円に拡大するとの試算がされている[46]。筆者はこの動向を注視し、本システムを利用してなんらかの形で地理空間情報技術による産業に参画できるように持っていきたい。

地理空間情報技術は、国際学術雑誌Natureによれば、米国労働省がナノテクノロジー、バイオテクノロジーとともに、イノベーションを興し、多くの雇用機会を増やす重大分野の一つとして挙げられており、地理空間情報技術を活用する技術の重要性が裏付けられている。

日本においては、政と官は地理空間情報サービス市場の拡大を目指している。たとえば、総務省は、準天頂高精度GPS衛星みちびきを数機打ち上げたりしており、さらには、その活用のための地理空間情報活用推進基本法といった法律まで存在する。本法律では、従来の地図の枠組みを超えて、位置にかかわるあらゆる情報を法律の範囲としている。

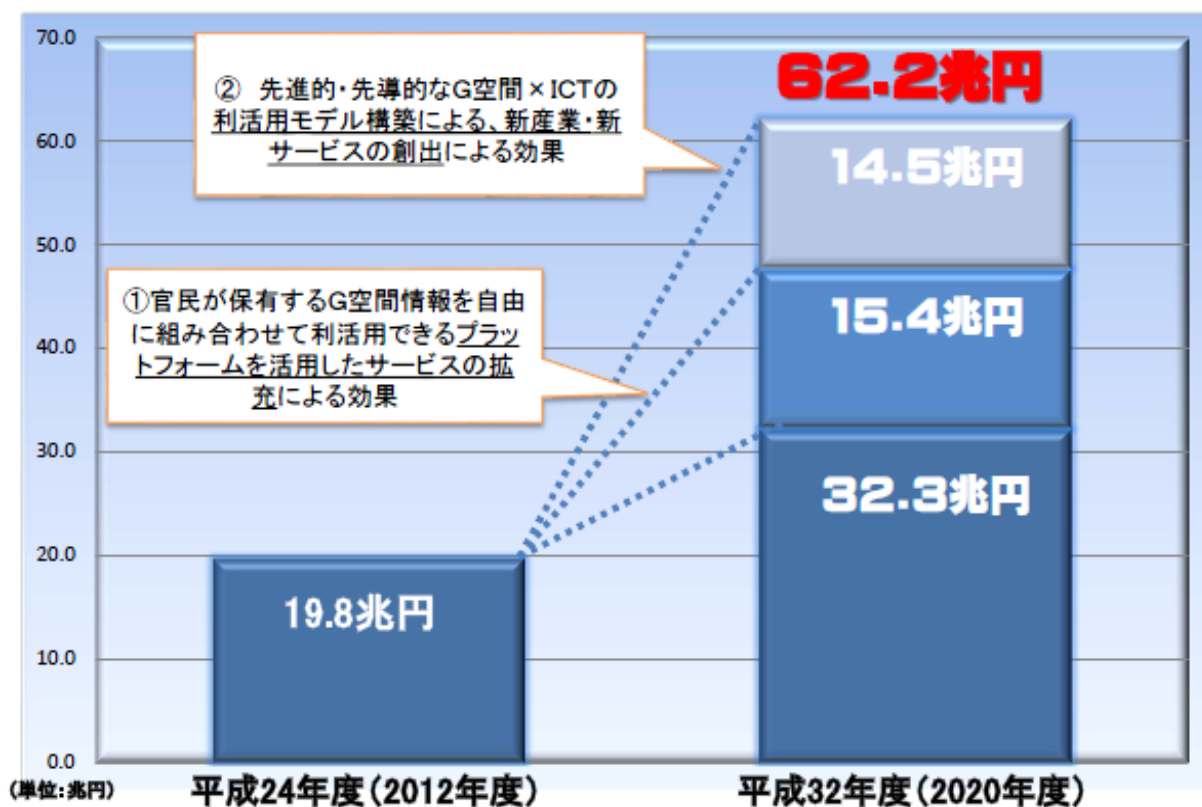


図5-1 地理空間情報の利用による市場規模予想（平成25年6月G空間×ICT推進会議より）

図5-1の地理空間情報の利用による市場規模予想では、平成24年度(2012年度)の19.8兆円の地図情報システム(GIS)やGPS等の地理空間情報を利用する市場は、平成32年度には32.3兆円となるとしている。それに加えて新たな市場セグメントを形成した場合、地理空間情報サービス市場は2020年度には62兆円に成長すると予測されているだけに、当社としては、何等かの地理空間情報サービスの事業化展開が行えることが望ましいと考える。すなわち、三次元地形形状計測技術をコアとし、スマートフォン、クラウドファイルサービスや地図情報システム(GIS)等の複数のサービスを連携することで事業が行えるような市場を想定して事業化を行っていきたいと考える。特に、図5-1において、②先進的・先導的なG空間×ICT利活用モデル構築による、新産業・新サービスの創出による効果の14.5兆円部分に割り込んで事業を成立させることがこれからの企業目標である。なお、G空間とは、Geospatial(地理空間)の翻訳の造語である。

### 5. 1. 2 三次元地形形状計測システムの災害対応ロボットへの用途の可能性

総務省の地理空間情報の利用のロードマップによれば、2020年頃を目途に世界最先端のG空間情報を活用した高度な防災システムの一部として、データ収集の為に災害対応のロボットが開発される。

このロボットの一部は無人航空機ロボットになる可能性がある。ヤマハ発動機が農業用の農薬散布ラジコンヘリを販売していることもあり、静岡県は航空宇宙産業特区への参画を計画しており、無人航空機フォーラムなどを主宰して広報活動を行っている。静岡県では無人航空機の製造販売や、無人航空機を活用したサービスを提供するような地域産業の発展を促進しているのである。

当社の写真測量による三次元地形形状計測システムは、航空宇宙、ロボット、光産業にいずれにも関係する事業である。本計測システムは、無人航空機と組み合わせて使用することで土砂災害時に機動性を

發揮し、離れた場所から地形や土砂量の計測を非接触で行える機能を有するため、災害対応ロボットに採用される可能性も十分あると考える。

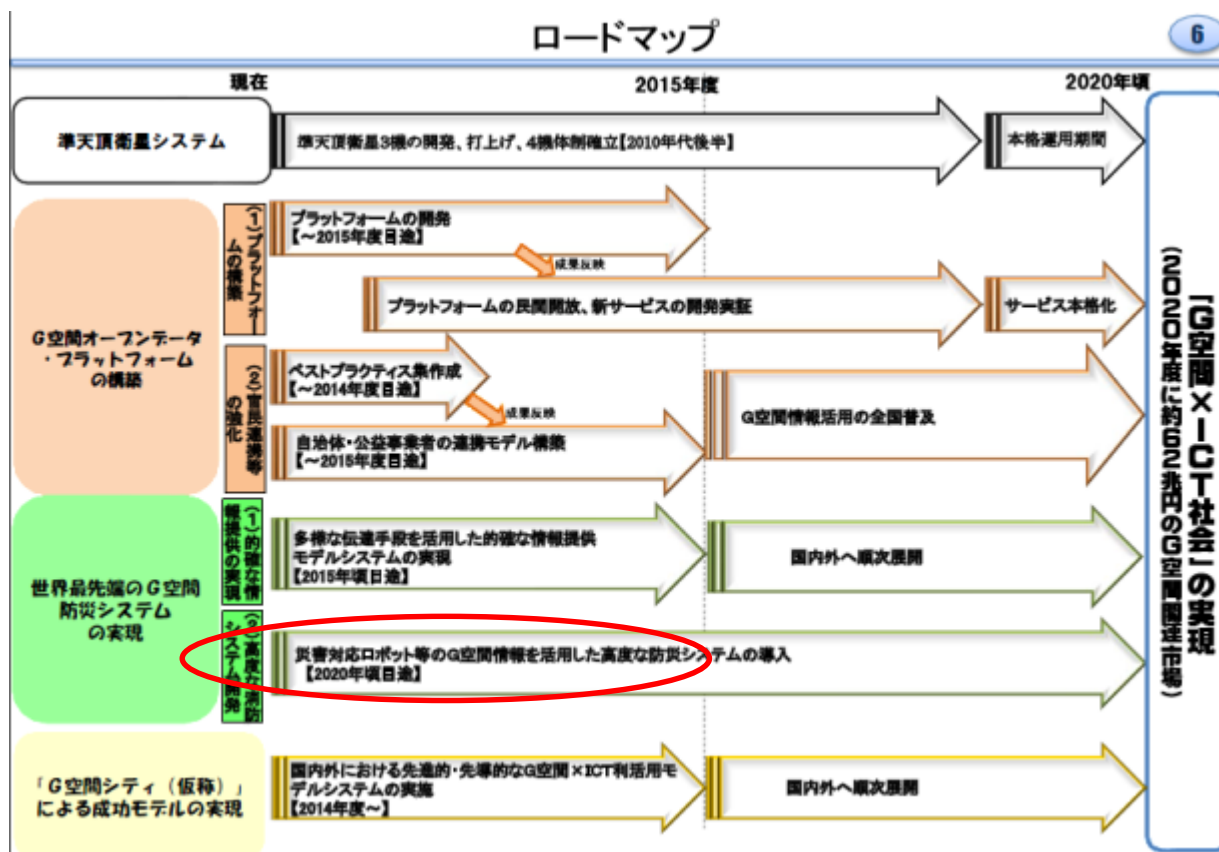


図5-2 地理空間情報の利用のロードマップ（平成25年6月G空間×ICT推進会議より）

## 5.2 製品のコンセプトと仕様

地理空間情報システムの一部としての本計測技術を活用した製品コンセプトや製品仕様について説明する。

土砂計測のニーズとしては、海岸線の計測だけでなく、近年は台風の豪雨による土砂災害が起きやすくなっており、今年だけでも、天竜区春野町、熊本根子岳、伊豆大島など、土石流や土砂災害が立て続けに起きている。このような公共セグメントに対して、土砂災害時に地形や土砂量の計測ができるシステムを提供することが可能である。

本計測システムは、デジタルカメラで撮影した複数視点画像を用いて三次元地形をコンピュータ上に再構成を行う写真測量ソフトウェアと複数視点画像を撮影する機材（地上空中写真撮影機材や空撮用無人航空機）のハードウェアから構成されている。

○写真測量ソフトウェア（3つのソフトウェアにより構成）

1) Camera Calibrator ソフトウェア

- (ア) カメラの歪み補正パラメータ取得ソフトウェア
- (イ) キャリブレーションチャート付
- (ウ) チャートを使った三次元計測機能も提供
- (エ) 精度：距離の 1/50000 100m で 2mm（サブピクセル計測精度）

2) Image Match ソフトウェア

- (ア) 三次元地形形状計測ソフトウェア
- (イ) テンプレートマッチング機能、Wavelet 特徴点、SIFT 特徴点
- (ウ) マルチ画像対応のバンドル法三次元計算エンジン搭載
- (エ) 誤対応点の自動補正機能、自動除去機能
- (オ) GPS 対応（絶対位置）
- (カ) 精度：距離の 1/1000 100m で 10cm（1ピクセル計測精度）

3) WideAreaModelViewer ビューワーソフト

- (ア) 広域地形合成地形表示ソフトウェア
- (イ) 等高線表示や疑似カラー表示、複数形状の差分表示、特異点除去機能
- (ウ) 複数形状の広域合成機能、DEM(Digital Elevation Model)化機能
- (エ) 平面やなだらかに変化する形状の画像を用いた自動位置合わせ機能を持つ
- (オ) 3D CAD 用データ出力機能

○複数視点画像を取得する撮影機材ハードウェア

標準構成として以下を用意するが、使用するハードウェアは基本的には任意である。

a)地上空中写真撮影用機材：

砂丘などのフィールドで展開するためには、画像取得カメラとしてはデジタルカメラを採用し、観測ポイントをフレキシブルに移動して複数視点から観測して三次元化（立体化）を可能とする可搬可能な地上空中写真撮影用機材である。

可搬型三次元地形形状計測システム用ハードウェアは図 5-3、図 5-4 に示している。また、表 5-1 には、製品の仕様を示している。

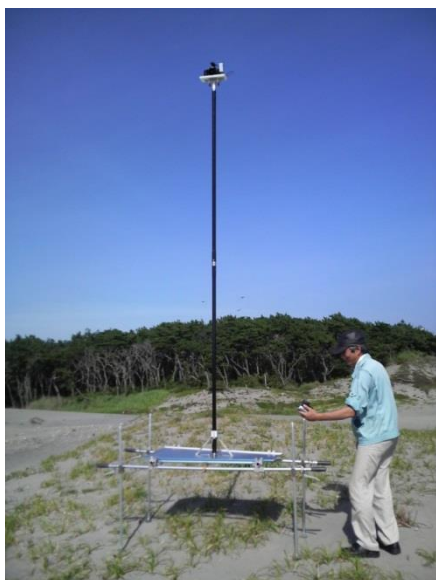


図5-3 ハードウェア（撮影時画像確認中）

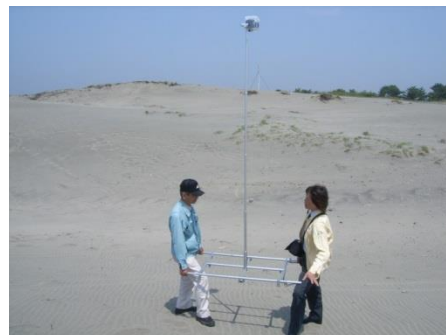


図5-4 ハードウェア（移動時）

表5-1 製品の仕様

撮影架台	デジタルカメラ入力用
特長	単眼視とステレオ視のカメラ座の交換が可能
	撮影時にライブモニター可能、リモートシャッター可能
	カメラ座の360度、手動回転が可能
カメラ設定の高さ	3000mm（地上面より）
寸法	555mmx1700mm（突起部は除く）
重量	約9.5Kg

b) 空撮用自動航行ラジコンヘリ UAV （50万円から YAMAHA FAZER 1200万円）

ここ1～2年における新しい技術トレンドとして、ジャイロ技術とマイクロコンピュータによるフィードバック制御の進歩により、無人ヘリコプターや4モーターのマイクロドローンマルチコプター機などの UAV（無人航空機：Unmanned aerial vehicle）が現れてきており、UAVによる空中撮影画像によるレーザー測量や写真測量が実際に行われるようになってきている。

エンジンを使った無人ヘリコプターは振動が大きく、撮影時にスタビライザーの使用が求められるが、マルチモーター機であれば振動が小さく、スタビライザー無しでの撮影が可能である。空中からの直下画像であれば、精度もチャート撮影時の検証時と同じ位になると思われる。これまで販売されていたプロ仕様のドローンヘリコプターは多少高額ではある（500万円から1000万円）が、中国の会社(dji inovetion 社)が参入し、パソコンでの自動制御が可能なマルチコプターが数10万円の費用で入手可能になってきた。UAV マルチコプター（4ロータ）の例は図5-5の通りである。図5-6は飛行経路と撮影の設定（DJI Ground Station）画面であり、首都大学東京の上空の制御画面である。この図は、参加した GIS 技術教育認定講習会の UAV 講習（地理情報システム学会）GIS Day2013 資料より抜粋したものである。



## 5. 3 BMO法による事業評価

### 5. 3. 1 BMO法に関する先行研究の検討とその実績

BMO法とは、事業化の目処がついてきたときに新規事業として事業化すべきかどうか、参入すべきかどうかを判断するための評価ツールであり、候補事業がどのくらい魅力ある事業か（事業の「魅力度」）、その事業が自社に適しているかどうか（事業の「適社度」）という2つの観点から評価し、そこからどのくらいの成功率があるか統計的にわかる手法である。

これまで、企業が新規事業に進出するにあたって成功の可能性を判定するのにいくつかの項目を数値化する方法が試みられてきた。この報告を最初に行ったのはペンシルベニア大教授でスナイダー起業研究センター所長の I. マクミラン氏である[64]。それは、ペンシルベニア大学の教授陣によって開発されたもので、新事業の「魅力度」と、それが各企業に適しているかどうかの「適社度」をそれぞれ6項目ずつ60点満点、合計120点満点で判断し、得点数によって成功、不成功を鮮明にする方法である。これをマトリックスに描いて「適社度」、「魅力度」という軸を中心に考える方法へと発展させたものがBMO法で、ペンシルベニア大学ウォートンスクールの B. メリフィールド教授が研究開発テーマを取捨選択するために編み出したテストがBMO法の原点である。そして、それをコンサルタントであった大江建氏が日本の企業に応用できるよう改良した。BMO法とは、提唱者であるペンシルベニア大学ウォートンビジネススクールのブルース・メリフィールド教授と早稲田大学の大江教授 Bruce Merrifield & Ohe の頭文字から命名されたものである[44][45]。

BMO法の実績としては、企業が着手する新規事業アイデアの代表的な評価方法として、現在では30年間にわたって約300社の採用実績があり、米国ではアメリカ商務省の産業政策策定やコンティネンタル・グループなどの大企業の研究開発テーマ選択や多角化戦略、ビジネス・スクールでも活用されている。日本では、社長や経営トップが思いついたアイデアの評価、研究成果の評価、コンサルタント、銀行、取引先、商社などから持ち込まれる事業アイデアを評価するときに多く利用されている[44][45]。

この方法はすべての事業に全面的に適合するとは限らないものの、事業化を検討していく上で応用することは十分可能だと考える。本手法は、新規事業の可能性について大雑把な全体像を把握するものであり、事業展開の成功のために必要な条件を明確にすることが可能になる。

さらには、このBMO法を意志決定分析の視点から見直すことでより一般的な新規事業参入前のチェックをする技法とすることを試みた研究事例もある[77]。

本節では、BMO法を用いて地形形状計測事業の評価を行う。BMO法により、事業のアイデアの実現性を検討し、弱点を抽出して克服していくことが目的である。

### 5. 3. 2 BMO法の概要

ここでは新規事業アイデアの代表的な評価方法としてのBMO法の概要を説明する。本手法は、研究者がテーマを考える場合に、新規事業への採用を検討する際の必要事項を明確にすることが可能となる。三菱総研によれば、BMO法はブルース・メリフィールド博士の基本案を日本の社内起業環境に合わせて、社内起業研究会と大江事務所が集大成した手法であり、新規テーマから創出される製品の市場規模や自社の技術力およびマーケティング力などを定量的に判断することが可能で、安全性が優先された結果が出ることが多い。

BMO法は理想的な新規事業像を基準とし、評価対象となる事業コンセプトがこの理想像とどのくらい

の隔たりがあるのか、その位置づけを明確にする評価手法である。BMO法では新たに作られた事業コンセプトをその事業の魅力度に関する観点と、その事業への適社度に関する観点で評価する。魅力度と適社度は、表5-2に示すように各々6つの指標（合計12指標）から構成されている。

表5-2 BMO法評価の12指標

魅力度(60点)	適社度(60点)
・市場規模	・資金力
・成長性	・マーケティング力
・競争力	・製造力
・リスク分散	・技術力
・業界の再構築	・原材料入手力
・社会的優位性	・マネジメント支援

図5-7はBMO法の成功曲線、図5-8は参入戦略の基準例をそれぞれ示している。

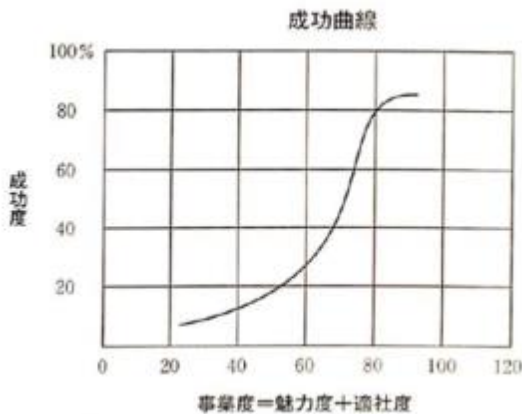


図5-7 BMO法の成功曲線

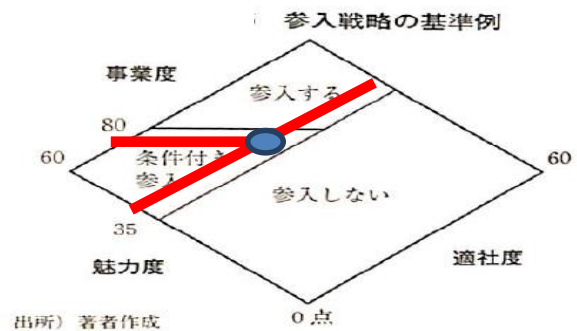


図5-8 参入戦略の基準例

### 5.3.3 BMO法の適用のための分析

BMO法を適用するためにはさまざまな分析が必要となる。まず、地形形状計測事業の環境分析、すなわち、PEST分析を行う（図5-9）。PEST分析とは、事業に影響を及ぼすマクロな要因を、P（政治的要因）、E（経済的要因）、S（社会的要因）、T（技術的要因）という4つの分野に分割し、自社が受ける影響を分析する手法である。政治的要因としては、ダム事業による流砂停止とその影響による沿岸浸食による国土減少問題やゴミ流出問題がある。緊急対応としては養浜事業がある。経済的要因としては、天竜川ダム再編事業により堆砂している砂を上流からダムを複数超えて流出させる事業の事業費が18年間で790億円かかっていることが大きい。社会的要因としては、海岸浸食による社会的不安の高まりがある。技術的要因としては、写真測量システムにより養浜効果の計測が可能になったことが上げられる。



## 環境分析 PEST分析：地形形状計測

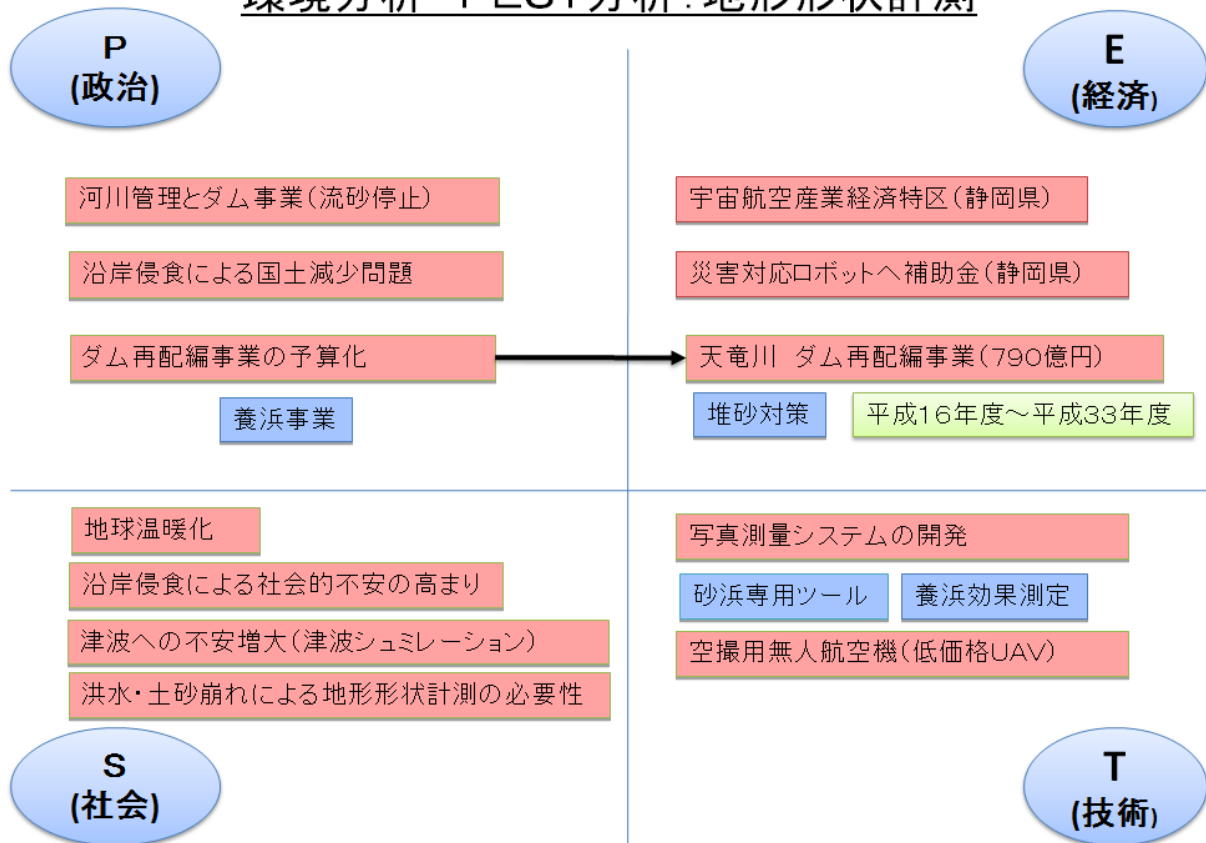


図5-9 地形形状計測事業の環境分析：PEST分析

以上の環境分析を前提として、3C分析として、顧客(Customer)、競合(Competitor)、自社(Company)の分析を行った。

### ・顧客(Customer)分析

現在、顧客としては(財)土木研究センターなぎさ総合研究室様のみであり、それも先方が受託研究を取った場合だけのため、事業を展開するには非常に限られている。それ以外には、自治体の土砂災害時のモニタリングがある。これについては後程詳述する。

他に考えられる顧客としては土地家屋調査士である。空撮用無人航空機を用いることで直下視の画像から地積測量が可能であり、写真測量或いはGPS測位により計測を行うことができる。当社のシステムは、山岳部などで原始筆界を探る手段として有効となる可能性がある。筆界とは土地の境界線のことである。山岳部では自然の稜線が境界線になっている場合があり、これを原始筆界という。計測データであるDEM(Digital Elevation Map)と筆界図を重ねただけでも、ラスタデータの解析による流域の作成技術を応用すれば、精度の高い原始筆界の復元ができる。この用途を用いる日本土地家屋調査士会連合会の会員数は17,804名(2010年1月)である。

当社としては、当面はこの市場セグメントを狙って事業化していく。

## 競合(Competitor)分析

まずは、従来の地形計測法と比較した（表5-4）。当社の三次元地形形状計測システムは、地上空中写真を用いて、測量資格なしで広域の地形形状が計測できる。地形を空撮あるいは地上空中写真を撮影するだけで三次元化が可能のため、高頻度で計測できることが当社のシステムの特徴である。高精度GPSによる測量では、一点当たり数分ほど計測に時間がかかり、全体が俯瞰出来るわけではないこと、レーザー測量による計測点群では誤りがあるため、その処理に時間がかかり、目視による誤計測点の除去が必要となる。

表5-3 地形形状計測の従来法との比較

### 地形形状計測：従来法との比較

	本システム	従来法(高精度GPS測量やレーザー測量)
特長	<ul style="list-style-type: none"> <li>①デジタルカメラにより、簡易にデータを取得可能</li> <li>②計測が高速化されたためサイクルタイムが短くなり、気象インパクトなどに即座に対応、また時々刻々の変化が追跡可能</li> <li>③市販パソコンを使って三次元化</li> </ul>	高精度の測量ができる反面、装置が簡易的ではなく、計測の技術レベルが高く専門家が必要等の理由で高コストとなり、計測頻度が増やせない問題があった
精度 100m	<b>自動検索の実用精度で距離100mにて、<math>0.6\sigma = \pm 12\text{cm}(50\%)</math></b> 理論分解能は、 $1\sigma = 1/50000$ （100mにて2mm）	高精度GPS…数cm レーザー…距離100mで数cmから1m程度（植生部分）
価格	100万円以下を目標とする （カメラ、架台はオプション）	高精度GPS…500～2000万円 レーザー…700～3000万円
計測時間	<ul style="list-style-type: none"> <li>①現地画像取得 約30分</li> <li>②特徴点抽出、形状計算 約1時間 （5000計測点）</li> <li>③三次元化処理、土砂量 約12分</li> </ul>	高精度GPS…1点当たり2～3分と計測に時間がかかり、計測点が少なくメッシュが粗くなる（ <b>全体を俯瞰できない問題</b> ） レーザー…解析に1ヶ月を要する（ <b>誤差部分の解析が必要</b> ）
データの利用の可能性	地形データ更新の頻度を高くすることが出来、さらに地形変化部分の組成（礫、砂）も画像で判断可能	養浜、防災シミュレーションの地形データ更新の回数が少なくなっていた

次に、競合の製品についてであるが、当社の地形計測ソフトウェアと他社のものと比較したものが表5-5である。ここではクラボウ社ソフトウェア（Kuraves）を載せているが、現時点では種類が増えてきており、他にも10種類以上の写真測量ソフトウェアがある。ただし、大きなシェアを取っているところはあまりない。クラボウ社は数年前には売っていたが、最近はあまり聞かない。最近、海外製のソフトウェアが増えてきている。

表 5-5 地形形状計測他社ソフトウェアとの比較

## 地形形状計測：他社との比較

	本システム	他社写真測量ソフトウェア (クラボウKuraves-G2などを評価)
価格	未定(100万円位)	150万円～300万円～600万円位 ～2000万円
精度	距離の50000分の1(分解能) 自動の時は1000分の1	不明(不公表:クラボウ)～ 距離の50000分の1まで
異なったカメラ 画像への対応	歪補正を画像毎に設定可	歪補正パラメータは1個のみ(カメ ラは1台)(×クラボウ)
特徴点検出 対応点検索	自動で可能 (Wavelet特徴)(正規化相互相関)	自動対応点検出はうまくいかな かった目視で左右画像から入力
作業時間	自動演算60分+手動部分12分 (5000点)	目視で入力が必要のため、1画面 数日かかった(クラボウ実績)。 (現在は、速く演算できるものもある)
計測エリア 「カメラ高さ」	比較的低い位置からの計測でも、広い エリアが計測できる	計測エリア正面からの画像が必要 (高さが必要)
	可搬型三次元装置(3m-4.5m)	必然的に崖とかが対象 ヘリ撮影、カイトフォト

以上を整理すると、当社の地形形状計測ソフトウェアの差別化要因は以下の通りである。

- 1) 自然地形であれば、複数画像から自動で計測点群である、特徴点、対応点を抽出できる。
- 2) 構造物の場合、計測点群が少ないなら本来の特徴を捉えて特徴点にしなければならないが、計測点群数をレーザースキャナー並みに増やす改良で対応が可能である。
- 3) 誤対応点を計算したカメラ位置関係からのパラメータで自動的に除去できる。レーザースキャナーの場合は、目視除去が必要であり、誤計測点の除去に工夫が必要になる。
- 4) カメラ毎にキャリブレーションパラメータを設定でき、複数のカメラのキャリブレーションパラメータの設定が出来ない他社製品より精度が高い。ただし、本製品と同じ三次元化ライブラリを使用している場合は、精度は50000分の1まで可能である。この距離の50000分の1が限界性能であり、すなわち、世界最高レベルと言える。
- 5) 斜め画像対応で、地上写真や地上空中写真3mからの100㎡領域の計測が可能である。
- 6) 自社製のソフトウェアのため、すべてのソースコードがあり、改良が自由に出来る。従って、イノベーションが、自社主導で進められる。

### 自社(Company)分析

三次元地形形状計測システムで使用しているソフトウェアは、自社で開発したのでソースコードがあり、必要に応じて自由に変更が行える。したがって、ほぼ自動で解析できるという機能を気に入っていただけのアーリー・アダプターを見つけ、要求仕様に合わせるため、FAE(フィールドアプリケーションエンジニアリング)を行いながら、必要とされるソフトウェアを作りこむことになる。

また、自動航行式無人航空機(UAV)を用いた全自動地形形状計測システムの提案も可能である。

### 5. 3. 4 BMO法への事例の適用

以上の分析結果をもとに BMO 法によって事業の評価を行った。(表 5-6 および表 5-7)

まず、事業の魅力度について説明する。市場規模についてであるが、地理空間情報サービス市場の中で測量市場は、3500 億円(2010 年)、写真測量に関しては、富士経済の調査(2006)によると、国内 30~50 億円、全世界 100~200 億円である。したがって、事業開始 5 年後の推定市場規模は 100 億円~499 億円であり、評点は 3 点とした。

投資効率については、本事業では販売開始時に投資は終了しているので、ROI は 50%以上可能である。売り上げが多くなると営業経費のみ必要となるだけで ROI も向上する。したがって、ROI は 20%以上であり、5 点とした。

成長性に関して地理空間情報の市場は拡大の可能性あるが、写真測量に関しては不透明である。したがって、10 点中 3 点とした。

競争力に関して、先発会社と予想参入会社の対応力の強さを検討する。先発会社が市場を席巻している場合は 0 点であるが、先発会社はあるものの一人勝ちではないので、4 点中 2 点とした。

商品/サービスの寿命に関しては、サービスの寿命は長く 5 年以上あると考えられるので、3 点中 3 点とした。

特許や商標による防御が可能かどうか、強い特許を保有している場合は 3 点、特許・ノウハウ・知的財産権が存在しない場合は 0 点だが、ソフトウェアの著作権があるので 3 点中 3 点とした。

リスク分散に関しては、マーケティング・セグメントの種類の数的重要であり、同一ソフトウェアを使ったマーケティングセグメントは、1) アカデミック、2) 公共、3) 土地調査の 3 つあり、ソフトウェアを変更すれば、工業応用(精密計測)や医療(内視鏡応用)などにも可能なため、10 点とした。工業応用では、たとえば、自動車板金等の三次元計測が可能である。ドア等の平らな部分に対して、ランダムドットパターンをプロジェクターで投光し、視点の異なる画像を撮影し、輝度変化により特徴点と対応点を捉えることで詳細の三次元化が可能である。

業界の再構築に関して、業界に与えるインパクトは低いので 3 点とした。

社会的優位性に関しては、政治的、公正取引上、社会環境上の問題では、本製品に関する優遇事情はないので 5 点とした。

次に、表 5-7 の項目ごとに、適社度について説明する。

資金力としては本来多大な資金が必要だが、本製品はすでに開発は終了しているため、今後必要な資金はほとんど少ない。

マーケティング力としては、本商品は新たなチャンネルが必要であるため、0 点とした。

製造力に関しては、現有ソフトウェアのコピーのみで対応可能のため、7 点とした。

技術力に関しては、無人航空機 UAV と写真測量の組み合わせを提案する。7 点とした。

原材料に関しては、自社製ソフトウェアがメインのため仕入れはないと言って良い。7 点とした。

マネジメント支援に関しては、本事業は、同一のパッケージを複数の顧客に販売するという知識集約型のソフトウェア企業を成立させるという当社のビジョンと一致しているので、5 点とした。

強力な事業推進者が存在するかどうかについては、専業事業推進者は筆者のみであり、5 点とした。

表 5-6 BMO法による写真測量による三次元地形形状計測の事業評価（魅力度）

項目		採点基準	点数と理由
市場規模	事業開始5年後の 推定市場規模	1000 億以上 : 5 点 500 億円～999 億円 : 4 点 100 億円～499 億円 : 3 点 10 億円～99 億円 : 2 点 10 億円未満 : 1 点	<b>3/5</b> 地理空間情報サービス市場は大きい 20 兆円(2012 年)、測量市場、3500 億円(2010 年)が、写真測量に関しては市場は小さい。100 億円～200 億円(2006 年富士経済)
	投資効率 ROI	20%以上 : 5 点 15%～19% : 4 点 10%～14% : 3 点 5～9% : 2 点 1～4% : 1 点	<b>5/5</b> 本事業開始時は、いわゆる知識産業型事業のため投資は、終了しているので、ROIは、50%以上可能である。売り上げが多くなると自動的に ROI も向上する。営業経費のみ必要
成長性	市場成長の可能性	事業開始後 5 年間の年平均成長率 年率 20%以上 : 10 点 14%以上 : 7 点 10%以上 : 5 点	<b>3/10</b> 地理情報市場は、拡大の可能性あるが、写真測量に関しては、不透明である。
競争力	先発会社と予想参 入会社の対応力 の強さ	先発会社が市場を席卷している場合 : 0 点	<b>2 / 4</b> 先発会社があるが一人勝ちの所はないので 2 点
	商品/サービスの 寿命	5 年以上 : 3 点	<b>3/3</b> サービスの寿命は長い
	特許や商標による 防御が可能	強い特許を保有 : 3 点 特許・ノウハウ・知的財産権が存在しない : 0 点	<b>3/3</b> ソフトウェアの著作権がある

リスク分散	市場細分化による リスク分散	マーケティング・セグメントの種類 5種類以上:10点 4種類:8点 3種類以上:6点 2種類:4点 1種類:2点	10/10 同一ソフトウェアを使った マーケティングセグメント は、1)アカデミック、2)公 共、3)土地調査の3つ ソフトウェアを変更すれ ば、工業応用や医療なども 可能である。
業界の再構築	業界へ与えるイン パクト	商品(サービス)、販売形態が革新的:10点 どちらかが革新的:7点 商品の改良や改善、低価格化:3点	3/10 インパクトは、低い
社会的優位性	政治的、公正取引 上、社会環境上の 問題	何も問題ない場合:5点 特別な優遇事情がある場合:5点を加点 問題がある場合:5点から減点	5/10 優遇事情は無し
魅力度合計			36 /60

表5-7 BMO法による写真測量による三次元地形形状計測の事業評価(適社度)

項目		採点基準	点数と理由
資金力	必要資金規模と 対応可否	多大な資金が必要だが、 自社で対応可能:10点 必要資金が数億円規模:5点 自社で必要資金がまかなえない場合、減点 する	5/10 必要な自己資金は少ない。
マーケティング力	現有マーケティング力との適合 性	早期に市場獲得が可能:10点 新たなチャンネル形成、人材育成が必要な 場合、減点する	0/10 新たなチャンネルが必要
製造力	現有施設、人 材、ノウハウとの 適合性	現有施設、人材、ノウハウが使える場合は、 高評価となる 低:0~3点 中:4~6点 高:7~10点	7/10 現有ソフトウェアのみで対応可能
技術力	サービス企画力 との適合性	顧客に対し新しいサービスを企画できれば 高評価となる 低:0~3点 中:4~6点 高:7~10点	7/10 無人航空機と写真測量の組み合わせ を提案する

原材料 入手力	原材料・部品・商品・情報の入手力	安全、安価に良質の仕入れができていれば高評価となる 低:0~3点 中:4~6点 高:7~10点	7/10 自社製ソフトウェアがメインのため仕入れは少ない。
マネジメント支援	経営トップの関与度	会社の長期ビジョンに合致しており、人材・資金面での支援が得られる場合、高評価となる 低:0~2点 中:3点 高:4~5点	5/5 会社のビジョンと一致している
	強力な事業推進者の存在	強力な専業事業推進者が存在する場合:5点 強力でも兼業であれば、減点。 4点以下の場合、事業実施が困難	5/5 専業事業推進者は社長のみ
適社度合計			36 /60

### 5. 3. 5 事業度の評価

以上、魅力度および適社度の評価をもとに事業度を評価する。結論として、本事業の**事業度は72点＝魅力度(36点)＋適社度(36点)**であることが判明した。BMO法提唱者である大江氏によれば、過去の事業評価の結果からみて事業度と成功率との間には相関関係がある。事業度80点以上の事業コンセプトは成功する確率が高く、事業度70点未満については成功の確率が低くなっている。事業コンセプト選択の目安として

- ・ 80点以上の事業コンセプト選択
- ・ 70点以上80点未満の事業コンセプト条件付選択
- ・ 70点未満の事業コンセプト選択しない

が推奨されている。尚、上記の条件付選択とは、たとえば、「再度事業戦略を練り直して再評価をし、それでも80点に満たない場合は選択しない」などを意味する。(図5-7)

従って、本事業は、条件付き参入可能であると考えられる。既存事業ではないので、現有マーケティング力との適合性がなく、マーケティング力は0点であり、事業度を向上させるには、マーケティング力を強化する必要がある。そのためには他社とのアライアンスを行い、営業や販売チャンネルを構築することで強化できると考える。協業先にソフトウェアをライセンス販売してもらいたい。

さらに、ターゲット顧客を決めるため、図5-10に示すように、業務の特徴(ビジネス用途)、顧客ニーズ(顧客セグメント)、客層(市場セクター)による分類を行った。顧客ニーズは、土砂崩れの計測による防災、海岸・砂丘の計測のような研究、土地調査、リモートセンシングでの地図化の4つのセグメントに分類できる。ビジネス用途は、無人機によるデータ収集、ソフトウェアを用いるデータ処理、GISを用いるデータ表示、そして技術サポートである。市場セクターとしては、大学や国研を対象にしたアカデミックセクター、政府や自治体の公共セクター、土地家屋調査士、測量士や一般の消費者を対象にしたコマーシャルのセクターがある。市場セクターごとに見ていくと、以下の通りである。

A) アカデミックセクター 研究セグメント

海岸研究土砂動体の計測は、(財)土研センター なぎさ総合研究室が実施している。この顧客に対しては、データ取得、データ解析、データ表示までフルにサービスする必要がある。

B) 公共セクター 防災セグメント

土砂崩れ計測事例として、土砂災害防止法の概要資料では、土砂災害が発生するおそれのある危険箇所の指定数は、日本全国で約 52 万箇所となっている（平成 26 年 9 月 5 日の情報）。静岡県では、15,193 箇所ある。台風や洪水等の気象インパクトで土砂崩れが起きた場合に、緊急時に離れたところから地形計測を行うというニーズがある。このニーズに対応するという意味では、各政令指定都市人口 100 万人当たり 1 台程度の計測システムの需要が予想される。無人航空機ロボットによる空撮は、低価格であれば消防署備品として使用の可能性がある。

たとえば、泉岳樹氏（首都大学東京 都市環境学部 地理情報学研究室）は、2012 年の九州阿蘇の根子岳で起きた土砂崩れの現場の撮影の仕事を受注しており、計測ソリューションを提供している。このように、防災セグメントは確実にニーズが見込める分野である。そこで、本セグメントをターゲット顧客とする。マーケティングについては、次章で説明する。

C) 一般セクター 土地調査セグメント

このセグメントでは、土地家屋調査士 17,804 名のうち、売上が 1 億円を超える程度の 100 名程度がターゲット対象である。1 億円を超えるような売上が大きい土地調査は、山林などの広い面積の地形計測と登記業務を行っており、空撮が山林での地形計測に適しているからである。

G 空間 expo2013 の講演によれば、今瀬 勉氏（土地家屋調査士・日本土地家屋調査士会連合会研究所 研究員）は、空中写真を利用した山林の原始境界復元手法の取組みを行っている。また、沢田 和秀氏（岐阜大学准教授）は、無人航空機を利用した地理空間情報構築の取組みを行っている。

本地形形状計測システムは、将来的には、無人航空機との組み合わせで全自動にて地形形状計測が可能になる画期的な付加価値を持つと考えている。

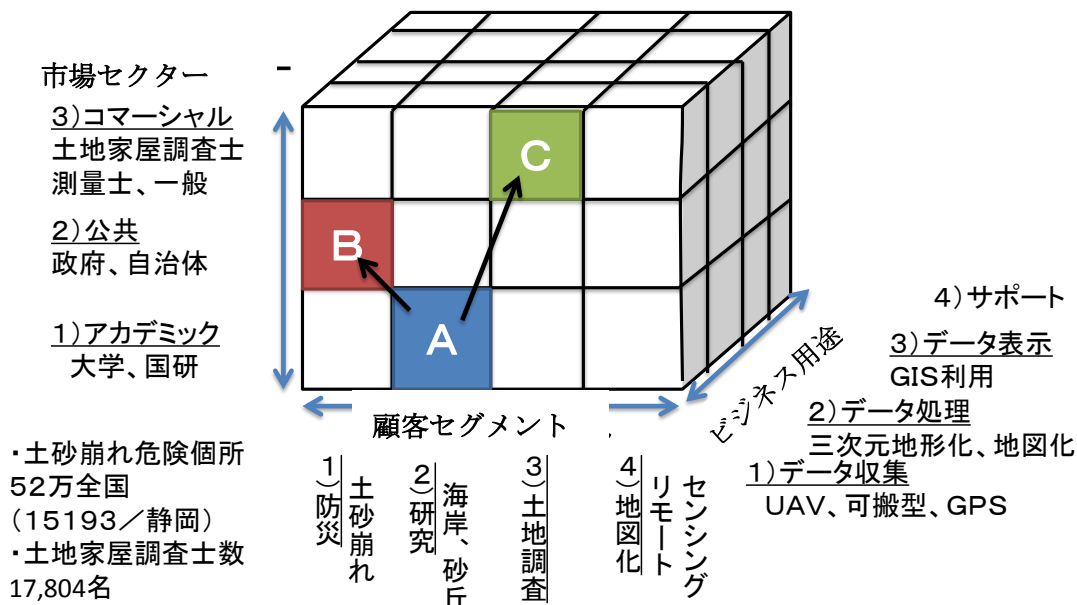


図5-10 ビジネス、マーケット、客層分類



さらに、本三次元計測の技術の将来的な可能性として、近接計測に展開すればさまざまな工業用途にも使える。複眼カメラ (TOMBO) での応用など[59]である。加えて、写真測量の応用としては、地形のような大きな対象ばかりでなく近接場写真測量も可能であり、工業製品の計測も数ミクロンの精度でできる。このようにさまざまな対象について計測を行えるアプリケーションを増やしていくことが産業化のためには必要であると考え。

## 5. 4 公共セクターでの防災セグメントへ向けた土砂計測システムのマーケティング

土砂計測のニーズとしては、気象の影響による浸食が問題になっている海岸線の計測ばかりでなく、近年は台風の豪雨による土砂災害が起きやすくなっており、昨年だけでも、天竜区春野町、熊本根子岳、伊豆大島など記憶される土石流や土砂災害が立て続けに起きている。本計測技術は、このような土砂災害時に機動性を発揮し、地形の計測や土砂量の計測が離れた場所から非接触で行える機能を有している。

前述の通り、政・官は音頭を取って地理空間情報技術 (Geotechnology) に関わる基幹産業を作ろうとしており、この動向を注視し、参画できるように持って行きたい。そこで、現在所有しているソフトウェアをどのように仕様変更すれば使って貰えるか、調査を進めた。インタビュー等の結果、以下のように仕様変更すれば、使って貰えそうな感触が得られてきたため、事業化へ向けて作業している。

### 5. 4. 1 地形計測システムの仕様変更箇所

- 1) 計測点群をレーザー測量と同等にするための機能追加 (数万点規模へ)
- 2) 低価格 UAV (無人ヘリ) の導入で直下視のデータを簡易に取得出来るようにする。防災用無人航空ロボットにより、2Km まで離れた場所の土砂地形の計測が可能になるようにする。
- 3) オープンソース GIS (Quantum GIS など) あるいは、商用ではトップシェアの esri 社の ArcGIS で、取得した地形が表示できるようにする。
- 4) 価格は、ソフトウェアのみで 100 万円以下、UAV を含めて 300 万円程度になるようにする。
- 5) 将来的には、地形形状計測の全工程のセットアップをコンピュータ端末上で行える全自動地形計測を可能とし、高い顧客価値を提供できるようにする。

### 5. 4. 2 本システムの販売対象となる計測需要など

本システムは営業しない限り顧客を開拓することはできない。販売対象となる計測需要の種類は以下の通りである。

- 1) 海岸地形の計測：地形の変化がある環境であり、計測ソリューションを提供する。
- 2) 土砂崩れ現場の計測：

自治体の危機管理部に対し、リモート監視カメラにより危険なく計測が可能なシステムを提供する。

・土砂災害防止法による統計では、土砂災害が発生するおそれのある危険箇所の指定数は、日本全国で約 52 万箇所となっている。(平成 26 年 9 月 5 日の情報)

・土砂災害防止法は、災害対策基本法とともに土砂災害時における現場の情報収集、すなわち、監視について定めている。次章において、本法律に関連した事業を説明する。

なお、GEO アクティビティフェスタへ応募し、採択された。2014年11月に展示する。2015年以降は、危機管理展関係展示会へ出展する予定である。

#### 5. 4. 3 土砂災害防止法に関連した、地形形状計測事業の可能性

土砂災害防止法の正式名称は、「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」（平成12年5月8日法律第57号）である。土砂災害から住民の生命を守るため、土砂災害のおそれのある区域についての危険の周知、警戒避難体制の整備、住宅地の新規立地の抑制、既存住宅の移転促進等のソフト対策を推進しようとするものである。ハザードマップを作成し、豪雨時の早めの住民の避難をすすめている。ここで、土砂災害とは、①急傾斜地の崩壊（崖崩れ）、②地滑り、③土石流の総称である。

第7条1項には、市町村防災会議（市町村長）が策定する市町村地域防災計画において、当該警戒区域ごとに、土砂災害に関する情報の収集及び伝達、予報又は警報の発令及び伝達、避難、救助その他当該警戒区域における土砂災害を防止するために必要な警戒避難体制に関する事項について定めている。

第7条第3項には、市町村長は市町村地域防災計画に基づいて区域ごとの特色を踏まえた土砂災害に関する情報の伝達方法、土砂災害のおそれがある場合の避難地に関する事項及び円滑な警戒避難に必要な情報を記載した印刷物（ハザードマップ）を配布し、その必要な措置を講ずることとなっている。

図5-13は、政府広報事例であり、全国の地方新聞各紙に広報しているものである

市町村では、本法律を根拠に、実際に、火山噴火、天然ダム、地すべりに関して、警戒箇所における地形計測を行っている。たとえば、図5-11 図5-12は九州北部豪雨での土砂崩れ現場での無人航空機の空撮事例である。このような画像から三次元地形を再現することが可能である。

現状、危険な土砂崩れ現場において、従来の測量ステーションやGPSを用いた計測作業を行っている例もあり、安全な計測が求められている。当社の地形形状計測システムは土砂災害に関する情報の収集が遠隔地から可能であり、防災用無人航空ロボットにより2Kmまで離れた場所の土砂災害時の地形の計測が可能である。

## 土砂崩れ箇所の計測例



図 5 - 1 1 無人航空機(UAV) 2012 年九州北部豪雨 土砂崩れ 熊本県高森町色味地区  
首都大学東京 泉先生撮影 <http://youtu.be/xAi-29wakyM>



図 5 - 1 2 無人航空機(UAV) 2012 年九州北部豪雨 土砂崩れ 熊本県根子岳  
崩落現場は、左側 首都大学東京 泉先生撮影 [http://youtu.be/SnXpX2\\_qj7A](http://youtu.be/SnXpX2_qj7A)

あしたの暮らしをわかりやすく  
政府広報 | 国土交通省

# 全国の約52万か所で土砂災害の危険あり！

- ゲリラ豪雨や台風などにより、土砂災害の危険性が高まります。
- 自宅周辺や外出先などの危険箇所を確認しましょう。
- 雨が降り始めたら最新の土砂災害警戒情報に注意し、身の危険を感じたら早めに避難しましょう。

土砂災害危険箇所

検索

図5-1-3 政府広報事例（新聞各紙に広報）<http://www.gov-online.go.jp/pr/media/paper/tsukidashi/img/ph1156b.gif>

平成26年9月5日付けの指定数の情報

## 5. 5 土砂災害防止法に関連した地形計測事業の開発

土砂災害防止法に関連した地形計測事業の仮説を作成し、顧客インタビューにより検証した。図5-14にビジネスモデルキャンバスで作成したビジネスモデル仮説を示している。インタビュー実施リストは、図5-15に、インタビューを集約し、検討した検証結果は、図5-16に示している。人が現地に行って計測できない危険な地形の計測にニーズがあると仮説を立て、その検証を行ったものである。

### ビジネスモデルキャンバス

<b>KP</b> キー・パートナー <ul style="list-style-type: none"> <li>・ライブラリライセンス</li> <li>・ソフトウェア開発者ソフトメンテナンス</li> <li>・海岸や土砂崩れ現場を計測する測量業者。</li> </ul>	<b>KA</b> キー・アクティビティ <ul style="list-style-type: none"> <li>・ソフトウェア製造</li> <li>・ソフトウェア販売</li> </ul>	<b>VP</b> バリュープロポジション(提供価値) <ul style="list-style-type: none"> <li>・台風、大波、洪水、土砂災害など気象インパクトにより、変化のある地形形状を計測する(海、山)</li> <li>・海岸地形</li> <li>・養浜効果の検証</li> <li>・離岸堤などが渡れない部分の計測</li> <li>・危険な土砂崩れ現場</li> </ul>	<b>CR</b> 顧客との関係 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ソフトウェアの提供</li> <li>・サポートの提供</li> <li>・ソフトウェアライセンス</li> </ul>	<b>CS</b> 顧客セグメント <ul style="list-style-type: none"> <li>・測量業者(海岸、土砂)</li> <li>・ソフトウェア販売代理店</li> <li>JTBD 人間が現地に行って計測できない危険な部分の地形の計測技術を提供する。</li> </ul>
<b>KR</b> キー・リソース <ul style="list-style-type: none"> <li>・ソフトウェア</li> </ul>			<b>CH</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・旧来型のビジネス</li> <li>展示会等</li> </ul>	
<b>C\$</b> コスト構造 <ul style="list-style-type: none"> <li>・開発コスト</li> <li>・サポートコスト</li> <li>・広告、宣伝費</li> </ul>			<b>R\$</b> 収益の流れ(売上) <ul style="list-style-type: none"> <li>・ソフトウェア販売(直売と、代理店経由)</li> <li>・使えるまでのサポート費</li> <li>・年間サポート代</li> </ul>	

出典: ビジネスモデルジェネレーション(Alex Osterwalder 他著、翔泳社)を改変  
 Source: BusinessModelGeneration.com

図5-14 ビジネスモデルキャンバスで作成したビジネスモデル仮説

インタビューは、潜在顧客として静岡県内の最大手測量コンサルタント2社、富士総合コンサルタント(株)(静岡県2位)、株式会社フジヤマ(静岡県1位)を中心に発注元である静岡県土木事務所や空撮業者および、東京都内で展開している海岸工学の国立研究所の外郭センターとそこで計測業務を行っている業者など約10名に実施している。その結果、人が現地に行って計測できないような危険な地形の計測にニーズがあることが検証できたが、土砂崩れや海岸以外に土砂を計測できる土地はほとんどないということであり、事業規模の拡大はあまり望めないことも明白になった。また、ブルーイノベーション株式会社は自社でUAVを製造販売しており、協業が可能なが判明した。

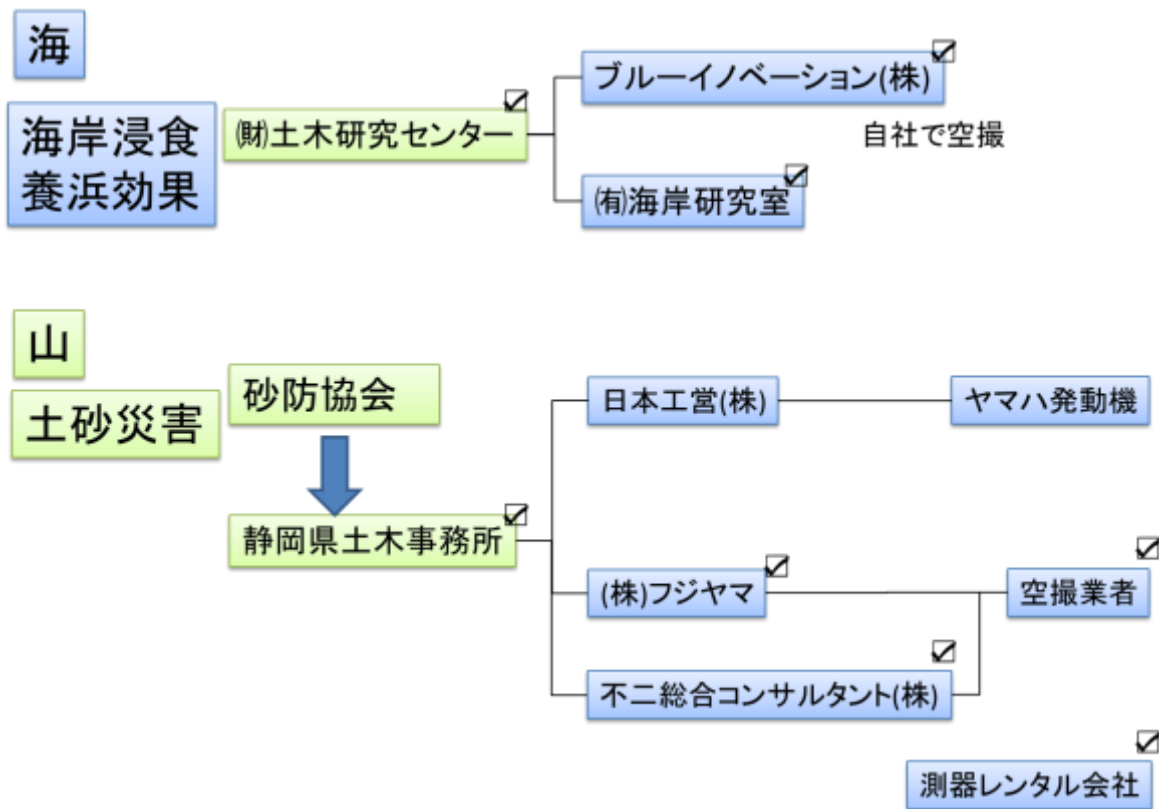


図5-15 インタビュー実施リスト

項目	当初仮説	検証結果と修正仮説	インサイト その他気づいたこと
顧客	<ul style="list-style-type: none"> <li>土木事務所</li> <li>土木コンサルタント</li> </ul>	仮説は、正しかった。	顧客のPCリテラシーが全体に低い印象。3Dが出来る人材が不足し望まれている。
顧客の課題・要望	崖崩れ現場の計測など土砂災害防止法に基づく監視が安全に出来る。	危険なため、人間が立入れない場所の地形を計測したい ただし、赤字になってまではやらない。 ソフトウェアより測量結果が安く欲しい	<ul style="list-style-type: none"> <li>計測ニーズは、海岸と土砂崩れのみ。</li> <li>無人航空機の空撮に関してのニーズも同様。</li> <li>他用途も、既存測量とバッティングしない必要</li> </ul>
MVP (最小機能商品)	機能: 三次元地形計測ソフトウェア 性能: 自然地形の自動計測が可能 特性: 高性能(距離の1/50000 実績値)	既存の測量法に比べ、低コストな写真測量の計測結果のデータ提供サービスが有望である	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発した地上撮影システムが提供可能</li> <li>空撮用ラジコンヘリ(ドローン) 15万円から購入可能 DJI社(月産3万台)</li> <li>空撮外注は、1回当たり 10万円(個人業者) 100万円(YAMAHA)</li> </ul>

図5-16 インタビューを集約し検討した検証結果

## 5. 6 まとめ

第5章では、地理空間情報システムに向けた本計測技術の要素技術を利用する事業について説明した。事業化における課題はアカデミックセクター以外の顧客を開発することである。そこで、新規事業の評価方法である BMO 法を使って検討することで解決の糸口とした。

まず、BMO 法による事業評価の結果、事業は、事業度 (72 点) = 魅力度 (36 点) + 適社度 (36 点) あることが判明した。すなわち、事業度は条件付き参入可能要件であるが、すでにソフトウェアは完成しており、新たな投資額が少ない事業のため、事業性は十分あると考えられる。

マーケティング力は 0 点のため、強化する必要がある。これには、他社と協業を行い、営業や販売チャンネルを構築することで強化できる。実際、協業先にソフトウェアを販売してもらう形を取る予定である。

次に、自然地形専門の写真測量として、公共セクターの土砂災害のための防災向け計測や一般セクターの土地家屋調査のための地形計測にはニーズがあることが分かり、それらの顧客に向けて顧客開拓を行っていくことにした。

特に、土砂災害防止法による土砂崩れ現場の監視ニーズのための事業について説明した。公共セクターでは実績が重要視されるので、まずは顧客の獲得に努める。また、顧客開発モデルを用いてニーズの確認を行い、その結果、明確なニーズを持つ顧客が発見できた。

なかでも、自動航行式無人機 (UAV) を製造販売している海洋土木調査会社のブルーイノベーション株式会社 (日本大学理工学部発ベンチャー企業) は、本技術に強い関心を持っており、同社とのアライアンスを構築し、販売を拡大できる可能性が出てきた。

## 第6章 画像意味認識による画像の検索可能化技術の開発

### 6.1 背景と目的

近年、膨大な情報から必要な情報を探し出す検索技術がますます重要になってきている。特にインターネットの世界では、目的とする情報や画像、動画、音声などにたどり着くまで何度も繰り返し検索を行うことが増えている。あるいは、編集者を通じてインデックス化された情報をたどり、行ったり来たりしながら目的の情報コンテンツを得るようになってきている[47]。例えば、アルバイト求人などのサービスを展開している Web サイト（リブセンス社）では、SEO(Search Engine Optimization)の設定の失敗で Google などの大手の検索エンジンの順位付けが下位になってしまい、企業の業績を左右するほどのユーザーアクセスの減少が起きたことがある。これは検索の重要性を示す一例である。

一方、ビッグデータという単語が話題になっている。ビッグデータとは、「データの量×データのアクセス可能性」である。すなわち、データの量のみで価値を生むわけではなく、データへのアクセスの可能性があってはじめて価値が生まれる。データへのアクセスの可能性が無ければ、データは単なるノイズの塊である。ここでも情報検索技術の価値が増している。

今日、われわれはインターネットの検索を使って様々な情報にアクセスしている。検索するユーザーは意識していないが、情報を提供するユーザーは、アイテムにキーワードやフレーズを付与するタグ付けを行っている。タグとは、ユーザーとアイテム双方へのメタデータを表現する共通したボキャブラリである。タグにより検索される可能性を向上させ、アイテムの価値を向上させている。同時に、検索するユーザーは目的とする情報やアイテムを効率的に得ることができるようになる。

画像や映像、音声などの言語化されていないアイテムへのアクセスでは、タグ付けは特に重要である。インターネットでのそのようなアイテムの検索も可能であるが、実際には、それに付けられたタグや、アイテムに関連付けられたテキストを検索し、アイテムを表示している。それらのテキストがなければアイテムが検索されることはない。大量の画像コンテンツを提供する Web アプリケーションでは、画像コンテンツにはサイト制作者によってカテゴリーやメニューなどのインデックスが付けられており、検索するユーザーはそれをたどって画像コンテンツを見つける。各カテゴリーは、その下に複数のサブインデックスを持っている。ユーザーは、サブインデックスの階層をたどって目的のコンテンツを見つける。ユーザーエクスペリエンスの観点からすると、このような階層構造のナビゲーションによる操作は、煩わしく面倒である。お目当てのアイテムを見つけるまでに、複数のサブインデックスによる階層を行ったり来たりすることもある[48]。

このように画像の様な言語化されていないデータでは、タグ付けや、カテゴリー分けにより検索できることが特に重要となる。アイテムの分類やタグ付けは、現在、手作業で行われている。しかし、コンテンツの量が増えるとコストと人手が問題となり、人手による分類は非現実的になる。例えば、Flickr (<https://www.flickr.com/explore/>) のような数 100 万コンテンツの写真サイトを考えた場合、手作業で一つ一つの写真を分類するにはどのくらいの手が必要になるだろうか。さらに、画像アイテムを分類するには専門の編集者が必要となる。

そこで、画像に検索用のタグを自動で付与し、検索が可能となる画像の検索可能化技術[78]を考え、それを実現するソフトウェアの開発とその技術を応用した事業化の検討を行う。事業化の検討について



は、次章で説明する。ここまで、インターネットでの画像検索や画像の提供を例として検索可能化技術について述べてきたが、この技術は個人が所有する大量の写真の検索にも応用可能である。

本章では、画像の検索可能化技術のソフトウェアの開発について説明する。入力画像の類似画像検索を行い、予め用意したモデル辞書から類似した画像を選択する。モデル辞書の画像にはタグが付けられており、選択した画像からタグデータをコピーし、入力画像に付与する。このようにして画像の検索可能化を実現する。初めに、様々な画像認識アルゴリズムを用いた類似画像検索ソフトウェアを作成し、自社の画像データベースを使用して類似画像検索ソフトウェアの動作確認と各アルゴリズムの性能評価を行う。また、予め用意するモデル辞書の画像にタグを付与する方法についても説明する。

## 6. 2 類似画像検索

本節では、6種類の類似画像検索アルゴリズムを実装したソフトウェアを作成し、認識精度の比較結果を説明する。類似画像認識の処理の模式図は図6-1の通りである。学習時には、入力された画像は前処理により輝度情報を正規化し、次に特徴を抽出する。この抽出された特徴をカテゴリー名と共に照合用のモデルに登録する。

入力された画像は、前処理、特徴抽出を経て特徴データに変換される。特徴データは、予め大量の画像の特徴データが記録されている辞書データと比較照合され、入力画像と類似した画像が検索される。最後に、検索された類似画像が持つカテゴリー名等を入力する。どのような特徴抽出と照合のアルゴリズムを用いるかによって、類似画像検索の精度が決まる。

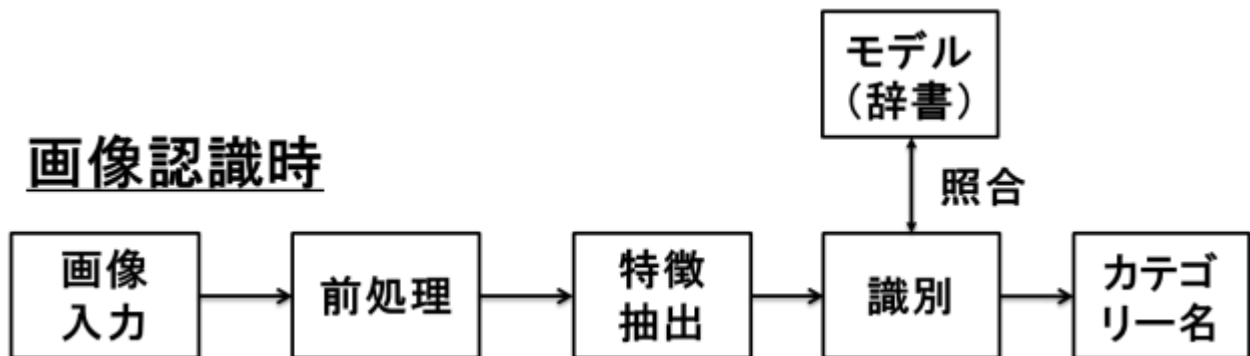


図6-1 類似画像認識の処理の模式図

### 6. 2. 1 類似画像検索のアルゴリズム

ここでは、作成する類似画像検索ソフトウェアに実装する各アルゴリズムについて説明する。

#### a) SIFT アルゴリズムとクラスタリングツール

まず、辞書作成時には、SIFT アルゴリズムを使って画像の局所特徴量をベクトル化し、Bayon クラスタリングツールを使用してクラスタリングを行って多数のクラスターを形成する。各クラスターに対して、Visual Words として特徴量ベクトルのヒストグラムを作成し、照合用の辞書としておく。この時点で、各クラスターは、類似した画像の集合となる。照合時には未学習の画像が入力され、SIFT アルゴリズムにより画像の局所特徴量を算出し、ベクトル化を行い、各クラスターの Visual Words である特徴量ベクトルのヒストグラムを、逐次比較し、一番特徴量が一致している画像を類似画像とする。

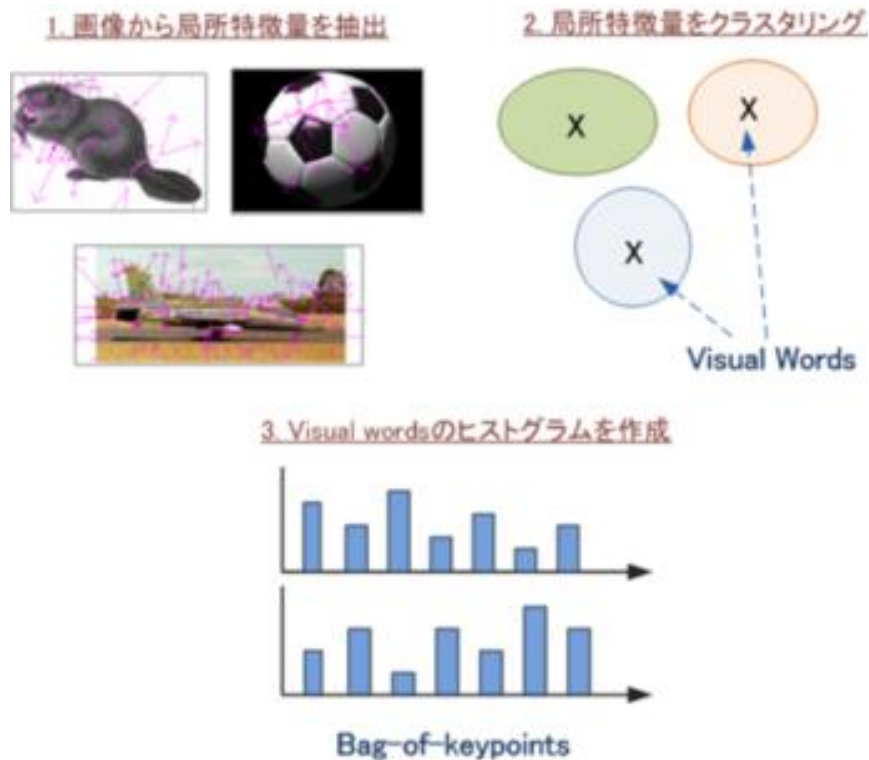


図6-2 SIFT 特徴とクラスタリングの利用

(<http://d.hatena.ne.jp/mimania/20100123/1264221761> bayon 説明ページから引用[35])

#### b) SVD と コサインアルゴリズム

次に、画像をマトリクス行列に変換し、特異値分解 Singular Value Decomposition(SVD)[36]を各マトリクス行列に適用する。そして、コサインアルゴリズムを使って、類似画像を特定する。特異値分解は疑似的な逆行列を取ることと同じである。コサインアルゴリズムは、画像ベクトルの類似度が高速に計算できるアルゴリズムであり、6.1式を用いて計算する。 $\vec{q}$ のベクトルは、入力画像であり、 $\vec{d}$ のベクトルは、特異値分解により求めた元の画像の疑似的な逆行列である。

$$\cos(\vec{q}, \vec{d}) = \vec{q} \cdot \vec{d} = \sum_{i=1}^v (q_i d_i) \quad (6.1 \text{ 式})$$

#### c) SURF アルゴリズムと SVD とコサインアルゴリズム

そして、SURF アルゴリズムを使用して各画像をマトリクス行列に変換する。SVD を使用してマトリクス行列をベクトルに変換し、コサインアルゴリズムを適用する。SURF (Speed-Up Robust Features) とは、高速化のため2章で説明した SIFT 特徴の 128 次元ベクトルを 64 次元ベクトルに精度を落としたアルゴリズムである[37]。

#### d) 画像のベクトル化とコサインアルゴリズム

さらに、長さ  $M \times N$  の Vector に各イメージを変換し、コサインアルゴリズムを適用して類似画像を特定する。

#### e) ヒストグラムとユークリッド距離

また、画像のヒストグラムを求め、ヒストグラム間のユークリッド距離を計算する。

$\mathbf{p}=(p_1, p_2, \dots, p_n)$  と  $\mathbf{q}=(q_1, q_2, \dots, q_n)$  の  $n$  点の距離  $d$  は、(6.2式)、(6.3式)により計算され

る。

$$d^2(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = (p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2 \quad (6.2 \text{ 式})$$

$$d(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} \quad (6.3 \text{ 式})$$

#### f) Java 画像処理ライブラリ中の画像比較関数を使用した類似画像検索

最後に、Java 画像処理ライブラリという画像処理ライブラリ[38]の中に画像の比較を行うライブラリを用いる。図6-3に示す25の領域におけるRGB値の平均に対応し、画像を300×300画素に正規化し、評価に用いる。各領域には、30×30画素がある。2つのイメージであるAとBの間で類似性測定について計算するために、それぞれの25の領域内のユークリッド距離について計算し、出力する。



図6-3 Java Image 比較で利用する25個の領域

出展[38]<http://www.lac.inpe.br/JIPCookbook/6050-howto-compareimages.jsp>

### 6.2.2 類似画像検索のアルゴリズムの性能評価

類似画像検索のWebアプリケーションを作成し、類似画像検索アルゴリズムの比較検討を行った。画像データベースは自社が所有するものを使用する。画像数は、約250である。

図6-4、図6-5に実行結果の一例を表示している。図6-4-1に示す虎の画像を入力画像として、a)SIFTとBayonツール、e)ヒストグラムとユークリッド距離の2種類のアルゴリズムを用いて類似画像検索を行い、検索された類似画像を図6-4-2に示している。同様に、図6-5-1のライオンの画像を入力画像として、a)SIFTとBayonツール、e)ヒストグラムとユークリッド距離の2種類のアルゴリズムを用いて類似画像検索を行った結果が図6-5-2である。類似画像が検索できていることがわかる。a)SIFTとBayonツールの場合、検索結果は少ないが、正解が含まれている。虎では、1つの結果に対して1つの正解、ライオンでは、4つの結果に対して3つの正解となっている。e)ヒストグラムとユークリッド距離の場合は、検索結果が多く、回答中に正解が含まれている。この2つのアルゴリズムは正答率が約60%と低い、間違いも多くなっていることがわかる。



## Tiger

[Back to: Hobbyphoto](#)

Tiger and tiger crub



Location: Not Available  
Original image size: 0X0  
Product Tags:  
Rating: Not Rated Yet  
Sales price: ¥465

[Add to Cart](#)

### Description

Product added by [Hiro](#)

[Question to vendor](#)

Tiger and tiger crub

Test



Testino



### Similar Products based on SIFT and Bayon

図 6 - 4 - 1 虎の元画像の画面キャプチャ

2014/9/3

Tiger and tiger cub | stockphoto.cloudapp.net | stockphoto.cloudapp.net



### Similar Products based on Histogram with Euclidean



#### Reviews

There are yet no reviews for this product.

<http://stockphoto.cloudapp.net/index.php/productcategories/119/3/hobbyphoto/119-tiger-and-tiger-cub/119-detail>

22

図6-4-2 虎の類似画像検索結果（アルゴリズム2種類 a)SIFT と Bayon ツール、 e)ヒストグラムとユークリッド距離）のキャプチャ画面



## Lions

[Back to Artphoto](#)

### Lions



Location: Not Available  
Original image size: 0X0  
Product Tags: lions  
Rating: 5/5  
★★★★★  
Sales price: ¥960

Add to Cart

### Description

Product added by [Hiro](#)

[Question to vendor](#)

### Lions

[Modern Art](#)



[Test](#)



### Similar Products based on SIFT and Bayon

図 6-5-1 ライオンの元画像のキャプチャ画面

2014/9/3

Lions | stockphoto.cloudapp.net | stockphoto.cloudapp.net



### Similar Products based on Histogram with Euclidean



#### Reviews

Monday, 17 March 2014

★★★★★

“ Gorgeous picture ”

**draupathi**

Search

<http://stockphoto.cloudapp.net/index.php/productcategories/122/stockphoto/122-lions-122-detail>

22

図6-5-2 ライオン虎の類似画像検索結果 (アルゴリズム2種類a)SIFTとBayonツール、 e)ヒストグラムとユークリッド距離) のキャプチャ画面

表 6-1 は類似画像検索の 6 種類のアゴリズムの性能評価を示している。マッチ数は、視覚的に正解のデータの数を算出したものである。精度は正しい類似画像を検索できた確率 (%) である。総マッチ数が多く、精度が高いアゴリズムがよいアゴリズムである。c)SURF アゴリズムは、a)SIFT より分解能を落としている分、精度が低いこと(61.9 →40.24)がわかる。

表 6-1 類似画像検索のアゴリズムの性能評価

方法	総マッチ数*	精度
a) SIFT アゴリズムとクラスタリング[35]	42	61.9
b) SVD と コサインアゴリズム[36]	7	100
b) SVD と コサインアゴリズム (グレー・スケールの正規化変換後) [36]	31	64.52
c)SURF アゴリズムと SVD と コサインアゴリズム[37]	98	40.24
d) 画像のベクトル化とコサインアゴリズム	17	100
d) 画像のベクトル化とコサインアゴリズム(グレー・スケールの正規化変換後)	37	91.89
e) ヒストグラムとユークリッド距離	30	60.5
f) Java 画像処理ライブラリ中の画像比較関数を使用した類似画像検索[38]	12	66.67

総マッチ数\*は、すべてのイメージにリンクされた各イメージあたりのマッチの数を示す。



類似画像検索では、判別する閾値をどう設定するかで異なった結果となる。閾値とは、照合結果の数値に対して、画像が一致しているかどうかを判定する値である。この閾値は試行錯誤で決定するが、表 6-1 に示す類似画像検索のアルゴリズムの性能評価においては、コサインアルゴリズムを使った b) c) d) の閾値は、次の通りである。

- b) SVD と コサインアルゴリズムでは、0.9998
- c) SURF アルゴリズムと SVD とコサインアルゴリズムでは、0.9999
- d) 画像のベクトル化とコサインアルゴリズムでは、0.96

なお、2つの画像が完全に一致していれば照合結果は1である。

また、一般的には、マッチの総数が増加するのにしたがい認識精度が下がることが理解できる。上記のアルゴリズムでは、d)の画像のベクトル化とコサインアルゴリズム（グレー・スケールの正規化変換後）がかなりの数のマッチ(37ポイント)と高い精度(91.89)がある最も正確な方法であるように思われる。

### 6.3 モデル辞書の作成とテキストタグの付与

類似画像検索による自動タグ付けでは、予めタグが付与された多数の画像のデータベースであるモデル辞書が必要となる。入力された画像は、前処理により輝度情報を正規化し、次に特徴が抽出される。この抽出された特徴をカテゴリ名などのテキストタグと共に照合用のモデルに辞書登録する。ここでのタグ付けは、通常、人手によりつけなければならない。(図 6-6)

現在、テキストタグ付けの方法としてスタッフによるテキストタグ付け、ユーザーによるテキストタグ付け、自動生成によるテキストタグ付けの三つがある(図 6-7)。スタッフによるテキストタグ付けは、画像を提供する場合に提供側が予め辞書を用意しておく場合に用いる。ユーザーによるテキストタグ付けは、画像を検索する場合に検索するユーザーが辞書を作成する場合に用いる。また、スタッフによるテキストタグ付けで用意された辞書をユーザーによるテキストタグ付けでカスタマイズすることも考えられる。そして、テキストマイニングの技術を用い、類義語などのタグを付加するのが自動生成によるテキストタグ付けである。

以下にそれぞれのタグ付けの特徴について簡単に説明する。[48]

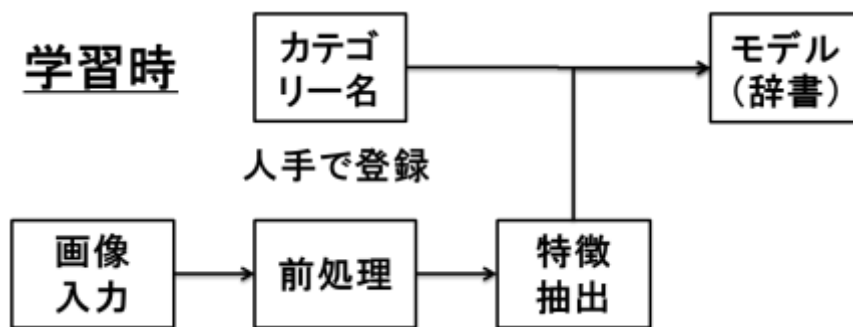


図 6-6 学習時の画像モデル辞書の処理の模式図

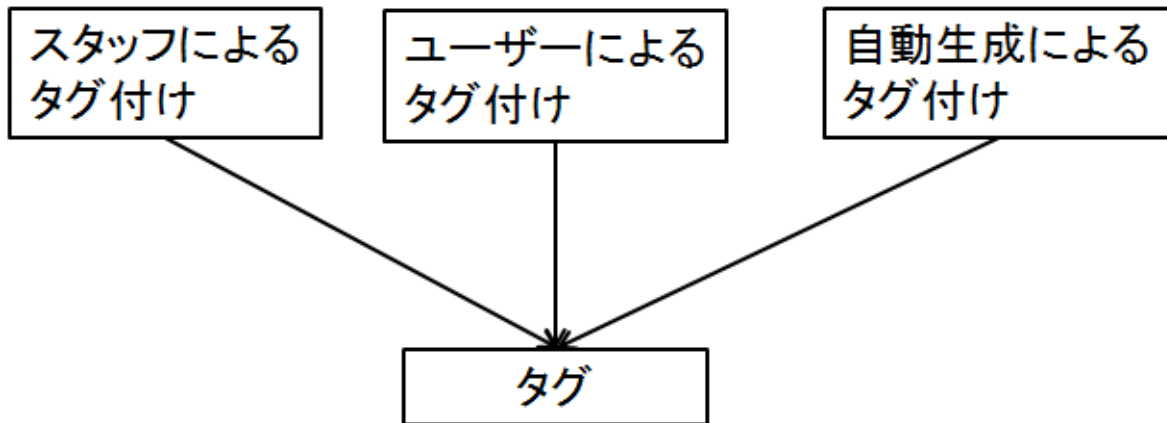


図6-7 タグ生成の3つの方法

各テキストタグ付けの特徴：

**a) スタッフによるタグ付けの特徴**

スタッフが画像を目視し、画像コンテンツに関連するテキストによりタグを付与する。

- ・ユーザーに公開することができる
- ・コンテンツに関連する概念をあらわすことができる
- ・別の表現を用いることができる
- ・類義語（類似したワード）を用いることができる
- ・複数のタームからなるフレーズを使用することができる
- ・利用するワードを統制されたボキャブラリ内に収めることができる

**b) ユーザーによるタグ付けの特徴**

ユーザー自身にとって意味のある自由形式のテキストを画像コンテンツに付与することができる。

- ・ユーザーになじみのある用語が使われる
- ・コンテンツを表現するテキストに関連する概念があらわされる
- ・テキスト中に現れない別の意味の表現に変更できる
- ・複数のタームからなるフレーズの使用が可能である
- ・ユーザーとアイテムのあいだの関係が情報として得られる
- ・意味の似ている、さまざまな用語が多く用いられる

**c) 自動生成によるタグ付けの特徴**

a)スタッフによるタグ付けと、b)ユーザーによるタグ付けにより付与されたタグを利用したフレーズ集に

より、検索用のタグを自動で生成する。この自動生成によるタグ付けを行うことにより検索の精度を向上

させることができる。

- ・テキストに含まれる用語を用いる。類義語を挿入することもできる。
- ・用語は、通常一語からなる。通常は、あらかじめ与えられたフレーズ集を用いる。
- ・不要なタグを大量に生成する。

- ・ 言語処理を利用し、文脈から複数語を用いたタグを生成でき、多義語や同音異義語などを区別できる。

## 6.4 まとめ

本章では、類似画像検索技術により、文字入力無しに検索用のタグを付ける画像検索可能化を考案し、その技術の可能性の感触を得た。その処理過程は図6-8の通りである。新たに入力された画像に対して、モデル辞書から類似画像を検索する。検索された類似画像に付与されているテキストタグをコピーし、入力画像に付与することで、入力画像を検索可能にする。タグが付与された画像は新たにモデル辞書に登録される。

モデル辞書の登録は、初めに人手によるタグの付与が必要である。しかし、大量の画像すべてにタグを付与し辞書を作成しなければならないわけではない。初めに必要最低限の辞書を作成すれば、繰り返し画像検索を行うことでモデル辞書の画像は自動的に増加していく。本技術で生成されたテキストタグにより、画像アイテムのテキスト検索が可能となる。

この画像検索技術は、インターネットでの画像検索から個人の保有する画像の検索まで幅広い応用が期待できる。この技術は、文部科学省主催で行われた「研究成果の事業化のための顧客開発プログラム」に採択された。

次章では、顧客開発プログラムによる事業化手法を用いて、画像意味認識技術の事業化について検討を行う。

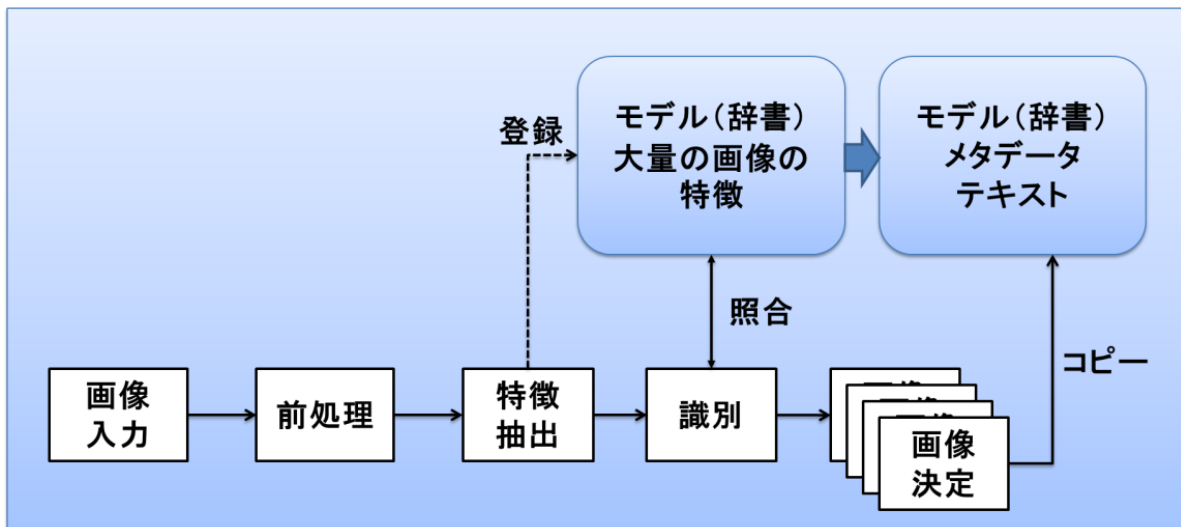


図6-8 類似画像検索とテキストタグの自動付与による画像検索可能化の処理

## 第7章 画像の検索可能化技術への顧客開発モデルの適用

### 7.1 インテリジェント写真産業と画像の検索可能化事業

本節では、画像の意味認識（イメージアノテーション）による画像の検索可能化技術に関して、新しい産業分野としてのインテリジェント写真に向けた画像の意味認識による新たな検索方法による価値提案について説明する。

#### 7.1.1 写真の最尖端産業であるインテリジェント写真

まず、写真の撮影機器とそれに関わる歴史を振り返ってみたい。（図7-1）。1837年にダゲレオタイプのカメラが発明され、乾板やフィルムという消耗品による写真の産業が生まれた。2012年には、写真における131年のイーストマンコダック社の歴史が終わった。その前には、主としてフィルムという消耗品産業の代替えであった「デジタル写真」の時代があった。デジタルカメラ市場は、最終的に「ネットワーク接続された写真：コネクテッドフォトグラフィ」の時代に入ったと考えられている、2013年には、発表された新しいカメラの40%がWi-Fi機能が搭載されているようになった。そして、現在は、デジタルカメラの販売数が低下している。これは、撮影機器が、デジタルカメラからスマートフォンに移っているためであり、カメラの付加価値の低下が問題になってきている。

そして、2007年にApple社が最初のiPhoneをリリースしたとき、多くの消費者がネットワークに接続されているスマートデバイスの使用を開始した。インテリジェント写真は、ネットワーク接続された写真のさらに次の段階であり、写真の最先端産業分野である。

次に、写真産業のライフサイクルは、160年間のアナログ写真、15年間のデジタル写真、7年間のネットワーク接続型写真というように短縮されてきている。インテリジェント写真は、次の世代に相当すると考えられ、画像産業がインテリジェント写真に短期間に切り替わる可能性があると考えられる。そのような変化をチャンスと捉え、このトレンドをあらかじめ把握した製品をタイミングよく、市場に投入できるかどうかは新規事業を成功させる鍵になると考える。

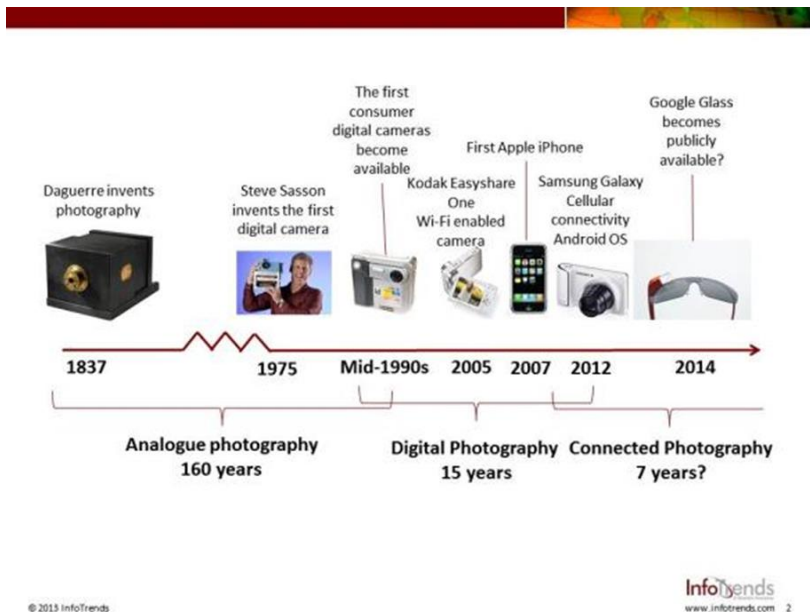


図7-1 写真の歴史

(インフォトレンド社資料 CP+2014 にて配布資料より引用)

注：インフォトレンド社は、デジタル印刷、 オフィス機器を含むデジタル出力機器および消耗品、ドキュメントマネジメントソフトウェア市場、デジタルフォト関連市場、フォトプリンティング、インターネットイメージング、 イメージスキャナ市場を専門分野とする調査コンサルティング会社、米国 InfoTrends の日本国内法人である。全体では、200 兆円規模の産業について取り扱っている。

図 7-2 に示すように、撮影機器の購入者の市場は現在、スロー写真、カジュアル写真、ファスト写真、およびインテリジェント写真という 4 つのセグメントに分かれている。インテリジェント写真は、インフォトレンド社によれば、将来的に最も成長機会があると予想されるセグメントである。

ここで、スロー写真のセグメントとは、一眼レフカメラを使い、時間をかけて写真を高画質で撮影し、写真そのものを楽しむ人たちであり、カジュアル写真のセグメントとは、日常をコンパクトデジタルカメラにより日常を撮影する人たちである。ファスト写真とは、スマートフォンのカメラを使って、撮影し、すぐに SNS など共有する人たちである。

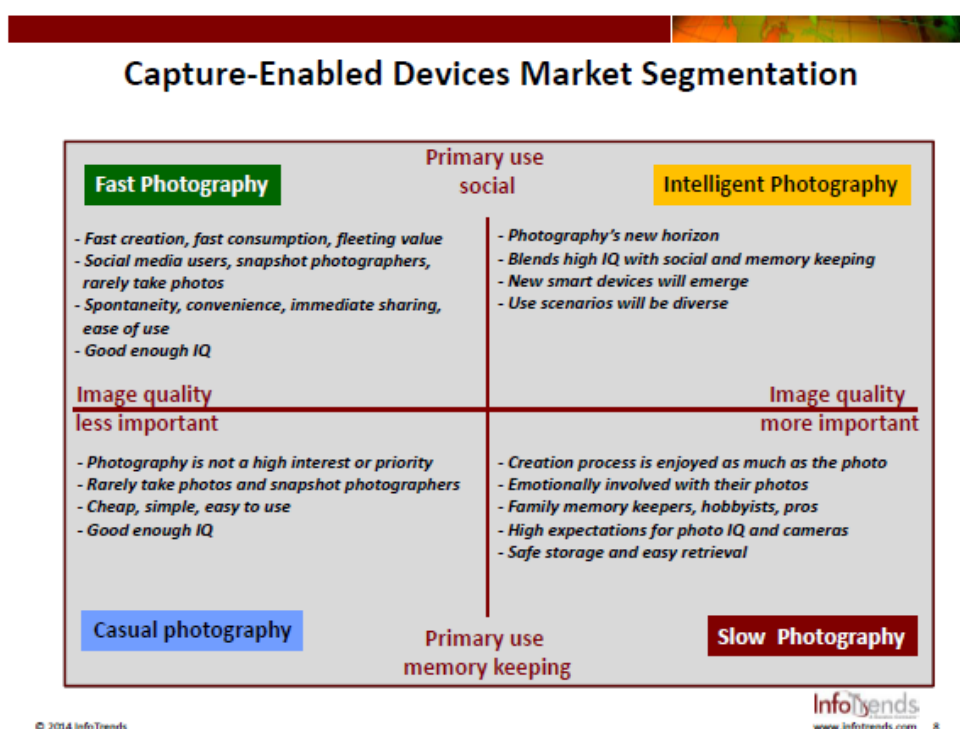


図 7-2 写真のキャプチャに関する 4 象限  
(インフォトレンド社資料 CP+2014 にて配布資料より引用)

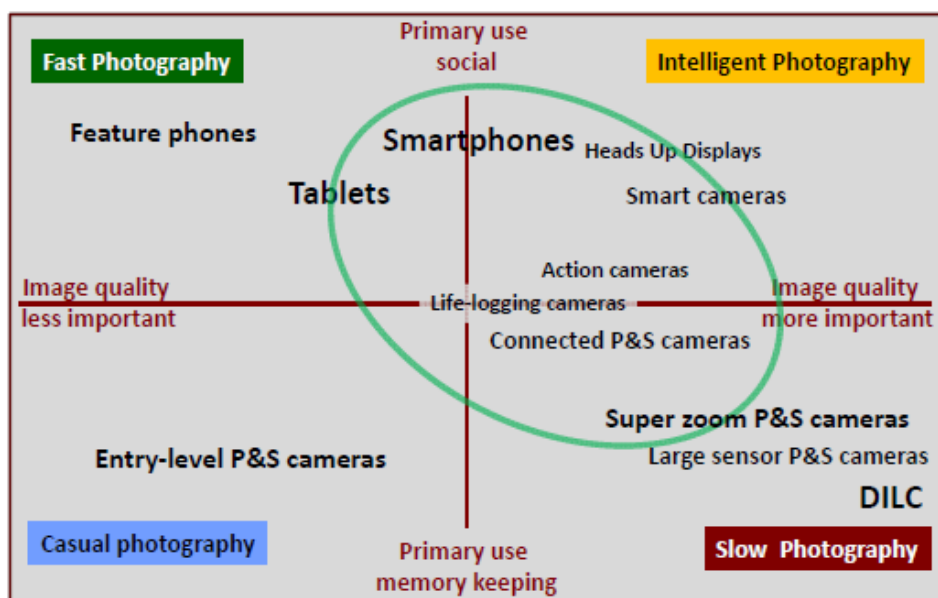
### 7. 1. 2 インテリジェント写真の実際

インテリジェント写真の撮影目的は、写真自体よりも大きな価値を有する画像を作成することにある。カメラのインテリジェンスはユーザーのニーズを先取りする機能であり、インテリジェントな写真撮影は、画像を向上させるプロセスとワークフローの自動化だけでなく、撮影者を助ける機能により活用されている。

インテリジェントな写真撮影の土台となるのは、機器内の強力な CPU 処理能力、グラフィック・プロセッシング・ユニット (GPU) のメモリ容量、ネットワークへの接続性、およびアプリケーションソフ

トウェアである。図7-3に示すように、撮影機器に関して、スマートフォン、タブレットの立場が大きくなっており、従来のようなカメラを作って箱に入れて売るカメラ産業は今後縮小していくと考えられている。

## Capture-Enabled Devices Market Segmentation



© 2014 InfoTrends

InfoTrends  
www.infotrends.com

図7-3 写真撮影デバイスに関する4象限  
(インフォトレンド社資料 CP+2014 にて配布資料より引用)

### 7. 1. 3 インテリジェント写真産業と当社の方向性

インフォトレンド社は、インテリジェント写真たる条件として、以下の4点を挙げている。

- 1) 撮影時に画像に埋め込まれたメタデータ（場所、日時）を画像の再利用のために活用する。
- 2) メタデータと画像解析により、撮影された後の画像に新しい意味情報を追加する。
- 3) ネットワークにより、写真の意味の検索や共有とユーザー間での相互作用（SNS）を可能にする。
- 4) これらを、ユーザーは意識せず自動化されたワークフローにより実現する。

上記の条件は、6章で説明した画像意味認識による画像の検索可能化技術ですべて達成できる。

以上、今後の写真産業の中心となると思われるインテリジェント写真としての条件は、当社が現在行っている画像の再利用のための検索可能化技術の開発の方向性と一致していることが確認できた。

インフォトレンド社によれば、2013年現在、2兆1000億ショットの画像データがあり、それが、2017年には、4兆5000億ショットの画像データに増大すると予想されている。仮に、現状のように画像を解析せず、再利用の対策なしの状態のままであれば、撮影された大量の画像の再利用は困難であり、ましてや付加価値を生むことはない。しかし、それらの画像を自動で検索可能にする機能があれば、画像の再利用が進むことになり、今後は大きな価値を生むようになると思う。

## 7. 2 画像の検索可能化技術のバリュー・プロポジション

画像の検索可能化技術が提示できるバリュー・プロポジション（提供価値）は、「PC やスマホに大量に保存された画像を自動で解析、言語化し、欲しい写真を言葉で簡単に見つけ出せる」という機能あるいはベネフィットである。この機能あるいはベネフィットを必要とするユーザーがいるのか？どうか、「顧客開発プログラム」手法を使って、ビジネスモデルを明確にする。

当初、画像を集めて販売しているストックフォト事業について検討した。ストックフォト事業とは、写真データ画像販売の Web プラットフォームであり、ユーザーから画像を預かり、著作権をダウンロード販売するものである。画像のアップロード時に検索タグワードを自動生成できることが他サイトとの差別化要因である。写真を購入する主な顧客セグメントは Web デザイナーである。

初期のビジネスモデルキャンバスは図 7-4 の通りである。バリュー・プロポジションとしては、画像をネットワークにアップロードするだけで、画像をテキスト検索あるいは画像検索することが可能になるということである。顧客セグメントとしては、広告チラシや Web で使用するために画像を購入するデザイナーが第一の顧客だと考えている。キー・パートナーとしては、画像を販売したいと考えるアマチュアまたはプロのフォトグラファーである。

<b>KP</b> キー・パートナー <ul style="list-style-type: none"> <li>・画像提供者 フォトグラファー アマチュア プロ</li> <li>・サーバー借用 Windows Azure</li> <li>・サーバー管理者</li> <li>・ソフトウェア開発者 メンテナンス</li> </ul>	<b>KA</b> キー・アクティビティ <ul style="list-style-type: none"> <li>・サービスを提供</li> <li>・販売代理店</li> <li>・画像を収集する。</li> </ul>	<b>VP</b> バリュープロポジション(提供価値) <ul style="list-style-type: none"> <li>・画像をテキストで検索するには、説明文が必要</li> <li>・画像一つ一つに検索用タグを付けなくてもよい。</li> <li>・画像をアップロードするだけでOK</li> <li>・イメージベース ・テキストベース どちらでも検索できる。</li> </ul>	<b>CR</b> 顧客との関係 <ul style="list-style-type: none"> <li>・プラットフォーム事業</li> <li>・データベースが大きくなる。</li> </ul>	<b>CS</b> 顧客セグメント <ul style="list-style-type: none"> <li>・デザイナー Webデザイナー 広告事業者</li> </ul> 画像を使って、 ちらしをカッコよく 作りたいデザイナー。 イメージやニュアンス を伝える。
<b>CS\$</b> コスト構造 <ul style="list-style-type: none"> <li>・画像コスト(売り上げの?0%)</li> <li>・開発コスト</li> <li>・インフラコスト</li> <li>・運用コスト</li> <li>・サポートコスト</li> </ul>	<b>KR</b> キー・リソース <ul style="list-style-type: none"> <li>・著作権管理モデル 画像の著作権</li> </ul>		<b>CH</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・インターネット</li> </ul>	
<b>C\$</b> コスト構造 <ul style="list-style-type: none"> <li>・画像コスト(売り上げの?0%)</li> <li>・開発コスト</li> <li>・インフラコスト</li> <li>・運用コスト</li> <li>・サポートコスト</li> </ul>		<b>R\$</b> 収益の流れ(売上) <ul style="list-style-type: none"> <li>・ストックフォト事業 画像を売っていきます。 Webデザイナー、広告事業者</li> </ul>		

図 7-4 ビジネスモデルキャンバスのストックフォトビジネスでの初期の作成例

出展：ビジネスモデルジェネレーション、Alex Osterwalder 著

### 7. 3 画像の検索可能化技術のMVP

画像の検索可能化技術を説明するために作成した MVP (ミニマムバイアブルプロダクト) は、パワーポイント MVP とユーザーベネフィットを描いたマンガ MVP である。

#### 1) パワーポイント MVP

画像の意味認識のパワーポイント MVP は図 7-5、図 7-6 に示している。図 7-5 は技術の説明であり、類似画像検索により選択された画像の説明をコピーした上で、これをシードワードとしてテキストマイニングによってテキスト検索のタグワードを自動生成することができることを示している。

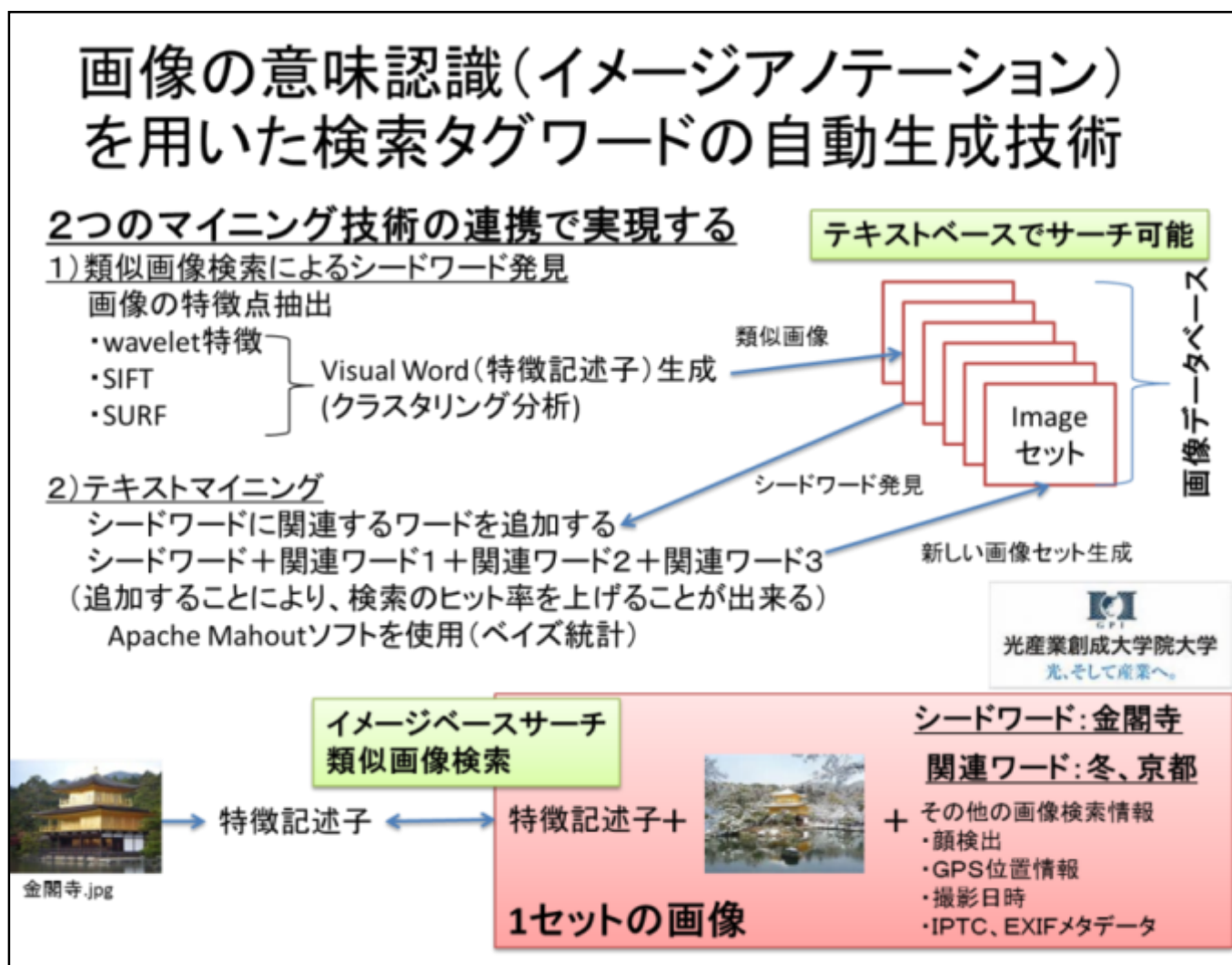


図 7-5 画像の意味認識のパワーポイント MVP (技術説明)

図 7-6 画像の意味認識のパワーポイント MVP (応用事例説明) は、応用事例の説明である。

当初考えたのは画像データベース用の検索用タグ生成エンジンであり、画像販売サイトに応用し、画像の内容の記述を自動化することにより人手間を省略し、画像を集めやすくする機能を提供するものであった。その他、視覚障害者用のカメラ画像読み取りソフトや、スマートフォンで個人が撮影した画像を解析し、画像データベースで検索用インデックスを作成するもの、医療画像を解析し、各症例を認識し、言語化するソフトウェア、あるいはセキュリティ用顔認識ソフトウェアが応用の候補であった。



光産業創成大学院大学 光産業創成研究科博士後期課程3年 花嶋正昭

- キーテクノロジーとしての画像検索技術

- デジタル画像は、1兆枚存在する
- 目的の画像にたどり着くには？
- 言葉で検索したい。

- スtockフォト事業

- 画像販売のプラットフォームを構築
  - ユーザから画像を預かり販売する
- アップロード時に検索タグワードを自動生成
- 差別化要因とする。

- 視覚障害者向けWebブラウザプラグイン

- 画像を言葉に変換し、イメージやニュアンスを伝えたい。
- 視覚障害者は、画像の解説のないウェブページが苦手。
- 画像の解説を自動付加する

- インクルーシブデザイン(人にやさしいコンピュータ)

- 画像アルバム
- 画像保管時の検索を簡単にしたい、自動で振り分けて検索できればいいね。
- 携帯電話+クラウドコンピューティング wifi付きカメラでPCに自動ストレージ etc

- 医療画像応用

- 類似画像検索を、症例検索に使いたい。

- セキュリティ応用

- 顔画像検出、顔認識



図 7-6 画像の意味認識のパワーポイント MVP 応用事例説明

## 2) マンガ MVP

画像の意味認識技術で作成したマンガ MVP を図 7-7 に示している。高齢の写真家の方が写真撮影したのだが、写真をうまく整理できなくて上映会に間に合わない。そこで、画像の意味認識技術を使って画像の整理を自動で行うことで、上映会に間に合わせることが出来るというストーリーを提示している。

### マンガMVP



Amogha Imaging

2014. 3. 4

株式会社アモーガイミージング

### 写真整理のお悩みについて

- ・ Target 高齢者の写真家の方

おじいちゃん

- ・ そんなに写真撮ってどうするの？
- ・ そんなに写真集めてどうするの？



### 探鳥会にて(お年寄り編)




大量の写真の整理が出来ず、  
上映会に間に合わない

### 撮影してしまった大量の写真の整理のお悩みを解決します



画像検索の新しい手法を使って、  
上映会に間に合わせます。





コゲラ  
野鳥  
の  
検索タグ付け  
を  
自動化します。

### VP(提供価値)

- ・ パソコンやスマートフォンに蓄積された大量の写真、どうやって、整理したら再利用が可能になるの？
- ・ あの写真、どこに保存したんだっけ？って探すのが面倒。



- ・ 自動で整理が、出来たらいいね。
- ・ 検索用のmetadataを自動生成できたらいいね。

図 7-7 画像の意味認識で作成したマンガ MVP

## 7. 4 画像の検索可能化技術のターゲット市場

顧客インタビューにおいては、ビジネスモデル・キャンバスの構成要素の中でリスクが高いものから検証していき、その検証結果を用いて他の要素を検討していく。通常もっともリスクがあるのは、作った製品やサービスが必要とされないことである。製品サービスと顧客ニーズがマッチしているか、ということが最も重要である。そこで、製品サービスの価値をバリュー・プロポジション・ステートメントにまとめて、顧客に意味が通るかを検証する。

画像意味認識技術のバリュー・プロポジション・ステートメントは、「写真を撮影する人」は、「撮影した写真の整理をなるべく早く、しかも簡単に行いたい」が、その際、「パソコンの使用が苦手で、面倒くさい」という課題があることが多い。そこで、「画像を自動で解析し、画像の検索が言葉で簡単に出来る製品」には、「一枚当たり 1 円の価格」を支払うだけの価値がある。”となる。

ここで価値として一枚当たり 1 円というのは、メカニカルタークというクラウドソーシングシステムを利用したサービスでは、画像を人が目視して内容を解析し、タグ付けを行う作業を 1 枚当たり 3 円程度としているため、その作業を自動化すれば、もっと早く安くなるであろうということで、1 円と想定している。

実際、現在のスマートフォン・アプリケーションのうち画像認識を使っているものが数例あるが、現時点では、これらはすべて人が画像認識を行っている。例えば、目の見えない人用のアプリケーションで、カメラで撮った画像に何が写っているかを瞬時に音声で教えてくれるアプリ (TapTapSee) がある。しかし、これはクラウドソーシングを利用し、ネットワーク上でリアルタイムに人が画像を認識し、テキストに変換する画像認識システムである。あたかもコンピュータが応答しているように見えるため、ボランティアで視覚障碍者のために運営していたものが、切実なニーズが無い人たちに大量に使われてしまい、運営が破たんして有料となった。その時の価格は 1 ショットあたり 10 円となっている。

その他、テレビ女優の衣装を認識し、E コマースサイトへ誘導するアプリサービスなども、バックエンドでは人が介在して画像認識を行っているが、あたかもコンピュータが応答しているように見える。

このような人が介在しているシステムに対し、画像を意味認識し、自動的に言葉に変換するという機能は非常に便利なため、広いニーズが考えられる。そこで、想定可能なターゲット市場を図 7-8 に示した。写真を撮影する人の数は、コンパクトカメラで撮影する人やスマートフォンや携帯電話のカメラで撮影する人が約 20 億人、そのうち対象化可能市場は、ネットワーク接続可能な人である。スマートフォンを使用している人はほぼネットワークに接続しているため、スマートフォンを使用している約 18 億人が対象化可能市場となる。ただし、ターゲットは、写真を撮りっぱなしにしている人ではなく、再利用する人である。

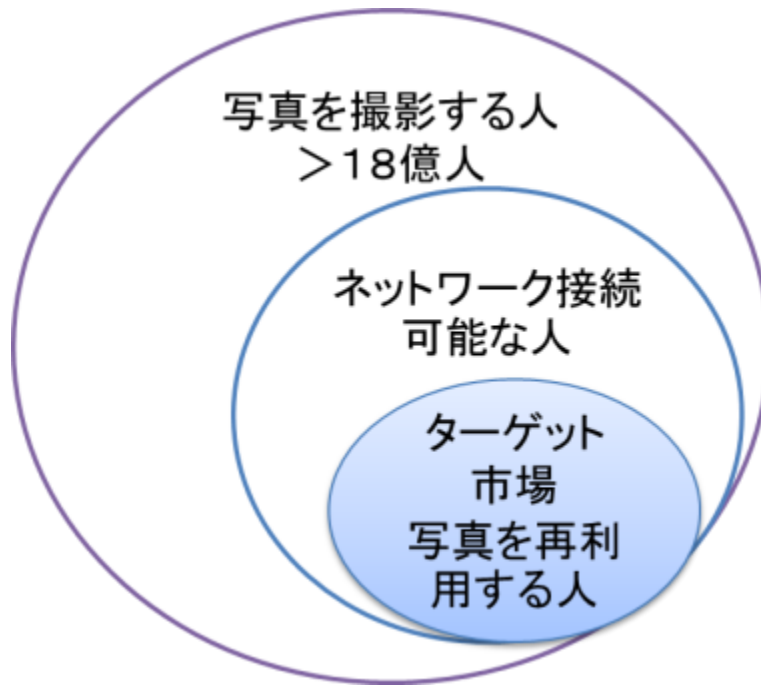
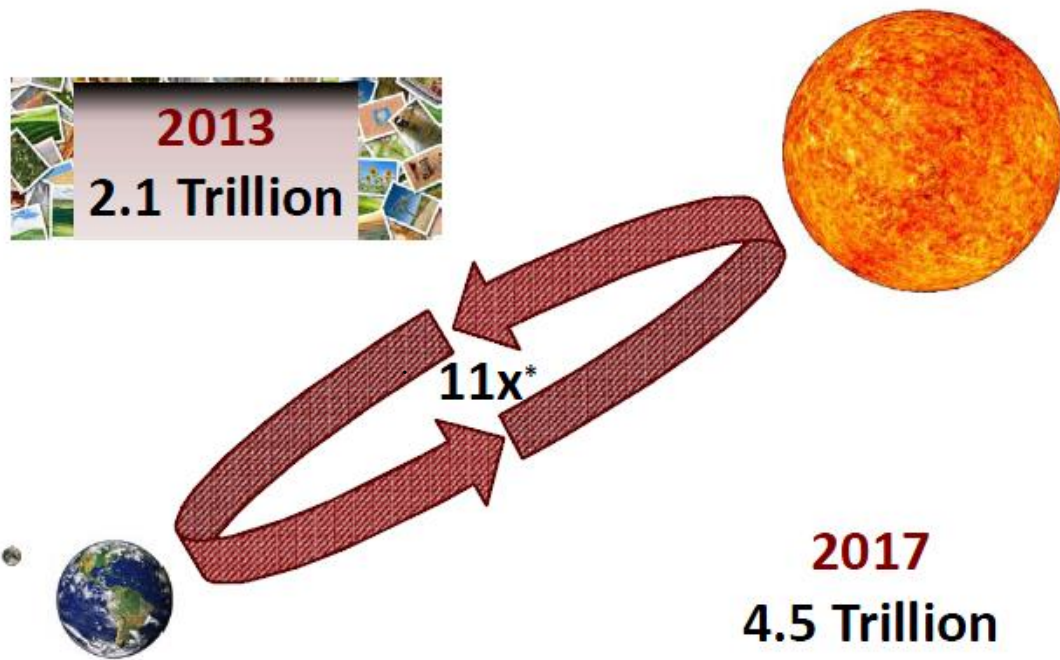


図7-8 ターゲット市場

市場調査会社、インフォトレンド社によれば、スマートフォンなどで撮影されるデジタル画像の撮影数は、2013年で2兆1000億ショットあり、4年後の2017年には、4兆5000億ショット（2017年）と2倍以上の数量になることが予想されている。筆者の技術を用いれば、これらすべてを対象にするサービスを提供することが可能である。（図7-9）

2兆1000億画像をスマートフォン総数である18億台（2015年ITナビゲータ野村総合研究所編）[58]で撮影するとすれば、一台当たり1166画像となる。実際、家族持ちのiPhoneユーザーのショット数は、1400画像前後であり、この計算はほぼ実情と適合している。

## Trillions of Photos Stored Worldwide



\* If all saved photos printed as 4x6-inch prints and placed end-to-end (6 inch in length) = 200 million miles

© 2014 InfoTrends

InfoTrends  
www.infotrends.com 13

図7-9 Infotrends社の資料より引用（2兆1000億ショット累積）

## 7. 5 画像の検索可能化技術を利用したビジネスモデル仮説

写真販売のプラットフォームビジネスの場合には、画像提供者側のベネフィットと画像使用者側のベネフィットの二つのバリュー・プロポジションを検討することが必要である。図7-10は画像提供者のビジネスモデルキャンバス、図7-11は画像使用者側のビジネスモデルキャンバスを示している。

### ビジネスモデルキャンバス

<b>KP</b> キー・パートナー <ul style="list-style-type: none"> <li>・サーバー借用 Windows Azure</li> <li>・サーバー管理者</li> <li>・ソフトウェア開発者 メンテナンス</li> </ul>	<b>KA</b> キー・アクティビティ <ul style="list-style-type: none"> <li>・サービスを提供</li> <li>・販売代理店</li> <li>・画像を収集する。</li> </ul>	<b>VP</b> バリュー・プロポジション (提供価値)  VP <ul style="list-style-type: none"> <li>・PCやスマホに大量の写真が保存され整理されていないが、大量の画像から簡単に探している写真を見つけ出せる。</li> </ul> MVP <ul style="list-style-type: none"> <li>・画像をアップロードするだけで検索できる。</li> </ul>	<b>CR</b> 顧客との関係 <ul style="list-style-type: none"> <li>・プラットフォーム事業</li> <li>・データベースが大きくなる。</li> </ul>	<b>CS</b> 顧客セグメント 写真売って、小遣いを儲けたい主婦、退職者写真家(アマ、プロ) JTBD 写真販売サイトへ画像をアップロードする課題不満 検索タグをいちいち付けるのが面倒くさい。しかも、タグ付けに失敗すると検索が出来ません。現状対策 検索されやすいようにタグ付けを行う。さらに、タグ付け講習会もある BUT 写真のタグ付けが不十分で欲しい画像がなかなか見つからない
	<b>KR</b> キー・リソース <ul style="list-style-type: none"> <li>・著作権管理モデル 画像の著作権</li> </ul>		<b>CH</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・インターネット</li> </ul>	
<b>C\$</b> コスト構造 <ul style="list-style-type: none"> <li>・画像コスト(売り上げの?0%)</li> <li>・開発コスト</li> <li>・インフラコスト</li> <li>・運用コスト</li> <li>・サポートコスト</li> </ul>		<b>R\$</b> 収益の流れ(売上) <ul style="list-style-type: none"> <li>・ストックフォト事業 画像を売っていきます。 Webデザイナー、広告事業者</li> </ul>		

出典: ビジネスモデルジェネレーション (Alex Osterwalder 他著、翔泳社) を改変  
 Source: BusinessModelGeneration.com

図7-10 画像を提供する側の立場でのベネフィット

# ビジネスモデルキャンバス

<p><b>KP</b> キー・パートナー</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・画像提供者 フォトグラファー アマチュア プロ</li> <li>・サーバー借用 Windows Azure</li> <li>・サーバー管理者</li> <li>・ソフトウェア開発者 メンテナンス</li> </ul>	<p><b>KA</b> キー・アクティビティ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・サービスを提供</li> <li>・販売代理店</li> <li>・画像を収集する。</li> </ul>	<p><b>VP</b> バリュープロポジション (提供価値)</p> <p>VP</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・PCやスマホに大量の写真が保存され整理されていないが、大量の画像から簡単に探している写真を見つけ出せる。</li> </ul>	<p><b>CR</b> 顧客との関係</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・プラットフォーム事業</li> <li>・データベースが大きくなる。</li> </ul>	<p><b>CS</b> 顧客セグメント</p> <p>CS</p> <p>Web製作会社のデザイナー JTBD</p> <p>写真集の画像を使って、クライアントのウェブサイトを作りたい課題不満 画像検索しても欲しい画像が見つかるのに時間がかかる 現状対策 一括横断で画像データベースのサイトを使っている BUT 写真のタグ付けが不十分で欲しい画像がなかなか見つからない</p>
<p><b>C\$</b> コスト構造</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・画像コスト(売り上げの?0%)</li> <li>・開発コスト</li> <li>・インフラコスト</li> <li>・運用コスト</li> <li>・サポートコスト</li> </ul>		<p><b>R\$</b> 収益の流れ(売上)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ストックフォト事業 画像を売っていきます。 Webデザイナー、広告事業者</li> </ul>		

出典: ビジネスモデルジェネレーション (Alex Osterwalder 他著、翔泳社) を改変  
Source: BusinessModelGeneration.com

図 7-1-1 画像を使用する側の立場でのベネフィット

## 7. 6 顧客インタビューの集約とニーズの再検証

ターゲット顧客と想定される計 20 名の方にインタビューを行い、パワーポイント MVP を使って、顧客ニーズの聞き取り調査を行い、それを集約した結果が図 7-1 2 である。インタビュー先は図 7-1 3 に示している。

まず、画像販売のサイトでは、タグ付けという作業の自動化という機能は顧客にとってのベネフィットにはなりにくいことが判明した。そして、画像意味認識技術を事業化するなら、ストックフォトサービスよりも、機能を汎用に使用できる API (アプリケーションプログラミングインタフェース) サービスの方がより高い価値があることが判明した。

項目	当初仮説	検証結果と修正仮説	インサイト その他気づいたこと
顧客	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ストックフォトという画像販売サイトの画像提供者、画像購入者</li> </ul>	インテリジェントフォト市場 ・スマホ使用者(18億人へ)	他人がやっていることをコンピュータにやってもらうというベネフィットが、分かりにくい
顧客の課題・要望	<ul style="list-style-type: none"> <li>・画像提供者がタグ付け無しで画像を提供できる。</li> <li>・画像購入者のニュアンスを文字で検索出来る。</li> </ul>	<b>意外なニーズを発見！</b> ・PCやスマホに保存され整理されていない、大量の画像から簡単に欲しい写真を見つけ出せる ・個人の写真の整理ニーズあの写真が欲しい。 ・中身、場所、日時、イベントで検索出来れば良い。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンテンツ販売だけでは、面白くない。</li> <li>・検索ワードの優先プライオリティについて検討して欲しい。</li> <li>・用途を特化して特許化し権利化しておこう。</li> </ul>
MVP (最小機能商品)	機能: デモ用の画像販売サイト 性能: 検索のテストができること 特性: クラウド版	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スマホアプリ</li> <li>・API(アプリケーションプログラミングインタフェース)の形で汎用化して提供して欲しい。</li> </ul>	

図 7-1 2 20 人のインタビューメモを集約した結果



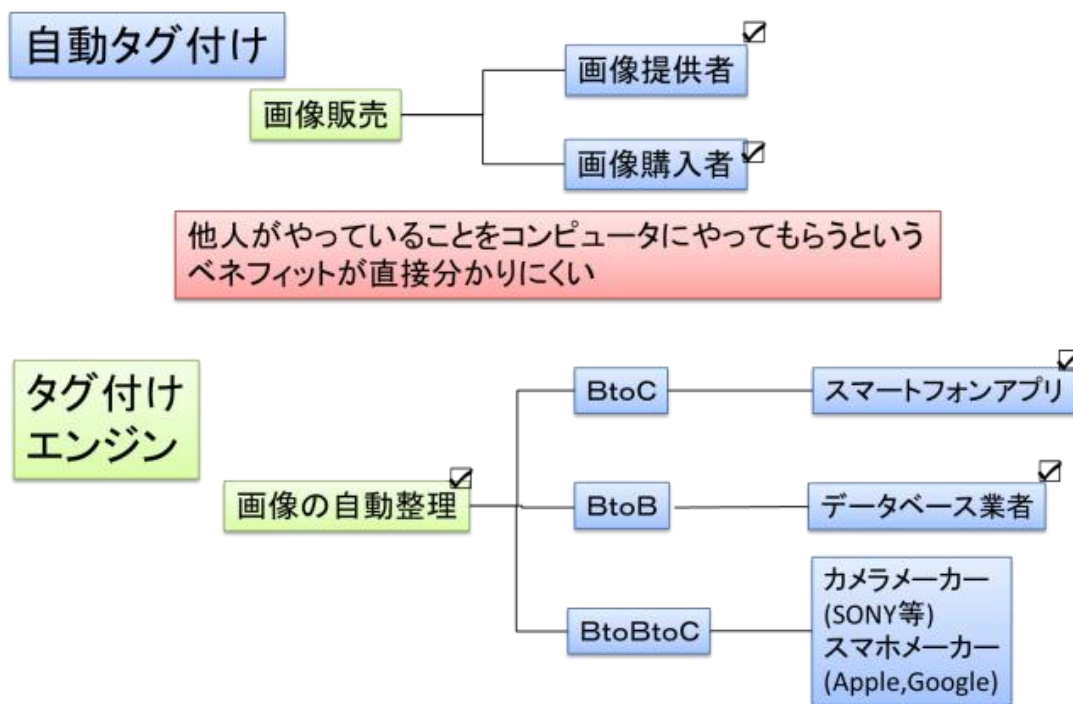


図 7-13 インタビュー先の分類

## 7.7 ビジネスモデルの変更

ストックフォトサービスのビジネスモデルをベースとして顧客開発を実践した結果、新しいニーズがあることが判明したので、別の顧客セグメントにサービスを提供することに方針を変更した。企業顧客に対してインタビューを行ったところ、画像の検索可能化機能を API にして使わせてほしいという要望が何件かあったのである。API なら、アプリケーションのユーザーインターフェース次第で、パソコンでもスマートフォンでも本機能が使用できるようになる。そこで、MVP（必要最小限製品）としては、市場規模が大きい、BtoBtoC のユーザーに向けた API の開発に着手している。

そこで、インタビュー結果から作成したスマートフォンを対象にしたビジネスモデルキャンバスを示す（図 7-14）。顧客セグメントの部分は以下の通りである。顧客セグメントは家族の写真をデジカメやスマホで撮りためている人たち（平均年間 1200 枚程度撮影）であり、顧客のニーズ（JTBD）は、撮りためた画像を後で見たり、再利用したいということである。課題ないし不満は、画像検索が不自由であり、言葉で検索できないため、目視にて検索の必要があるということである。現状での対策は、パソコンにコピーしてフォルダーに分けておいておくという程度である。しかし、これでは、欲しい画像はなかなか見つからない、ということになる。

売り上げの部分は、フリーミアム戦略を取った場合には、フリー会員のみになるので当面は上がらない。プレミアム会員との差別化を明確に行う必要がある。

# スマホアプリのビジネスモデルキャンバス

<b>KP</b> キー・パートナー <ul style="list-style-type: none"> <li>・サーバー借用 WindowsAzure</li> <li>・サーバー管理者</li> <li>・ソフトウェア開発者 メンテナンス</li> </ul>	<b>KA</b> キー・アクティビティ <ul style="list-style-type: none"> <li>・サービスを提供</li> <li>・販売代理店</li> <li>・携帯販売会社。</li> </ul>	<b>VP</b> バリュプロポジション(提供価値)  VP <ul style="list-style-type: none"> <li>・PCやスマホに大量の写真が保存され整理されていないが、大量の画像から簡単に探している写真を見つけ出せる。</li> </ul> MVP <ul style="list-style-type: none"> <li>・画像をアップロードするだけで検索できる。</li> </ul>	<b>CR</b> 顧客との関係 <ul style="list-style-type: none"> <li>・API提供事業</li> <li>・画像を解析して、検索タグを返す。</li> <li>・アプリも提供</li> </ul>	<b>CS</b> 顧客セグメント 家族の写真をデジカメやスマホで、撮りためているお父さん、お母さん、おじいさん(年間1200枚程度撮影) JTBD 画像を後で見たり、再利用したい。 課題不満 画像検索が不自由であり、言葉で検索できない、基本的に目視検索 現状対策 取りっぱなしやパソコンにコピーしてフォルダーに分けておいておく。 BUT 欲しい画像が、なかなか見つからない
	<b>KR</b> キー・リソース <ul style="list-style-type: none"> <li>・ソフトウェア</li> <li>・著作権</li> </ul>		<b>CH</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・インターネット</li> </ul>	
<b>C\$</b> コスト構造 <ul style="list-style-type: none"> <li>・開発コスト</li> <li>・インフラコスト</li> <li>・運用コスト</li> <li>・サポートコスト</li> </ul>		<b>R\$</b> 収益の流れ(売上) <ul style="list-style-type: none"> <li>・画像を整理することで、お金をもらう。 一枚当たり1円(月100円) 2兆1000億ショット/18億台のスマホ、デジカメ =1166ショット(平均)</li> </ul>		

出典:ビジネスモデルジェネレーション(Alex Osterwalder他著、翔泳社)を改変  
Source: BusinessModelGeneration.com

図7-14 スマホアプリでのビジネスモデルキャンバス

## 7. 8 画像の検索化事業のマーケティング分析

画像検索化技術を前述のビジネスモデルを用いて販売していくに当たり、マーケティング分析を行う。

### 7. 8. 1 環境分析

画像意味認識に関わる事業の環境分析として PEST 分析を実施した結果は図 7-16 の通りである。

スマートフォンのカメラを用いてライフログ的に日常のイベントを撮影し記録する行動は、ごく一般的なものである。しかしながら、撮影された画像は、そのままスマートフォンの中に残され、あとで、再度画像を眺めたり、再利用することは殆どない。それは、単に画像データをメモリーに保存してあるだけであって情報としての価値はない。しかしながら、多くの人たちが撮影した大量の画像の自動分類サービスが提供できれば、画像の再利用という付加価値を提供できるため、事業化の可能性が広がってくると考える。

社会的な問題としては、高齢化や、それに伴いデジタルデバイドといわれる情報化の恩恵が受けられない人々が増えている。そのような人々は、携帯電話からスマートフォンへの乗り換えが遅れている。しかし、スマートフォンの普及率は日本国内で 50% を超えて来ており、自動解析により画像が再利用出来る画像の意味認識技術は、将来、さらに機能が高度化し、使いやすくなると思われるので、広く普及し、利用されるようになると思う。

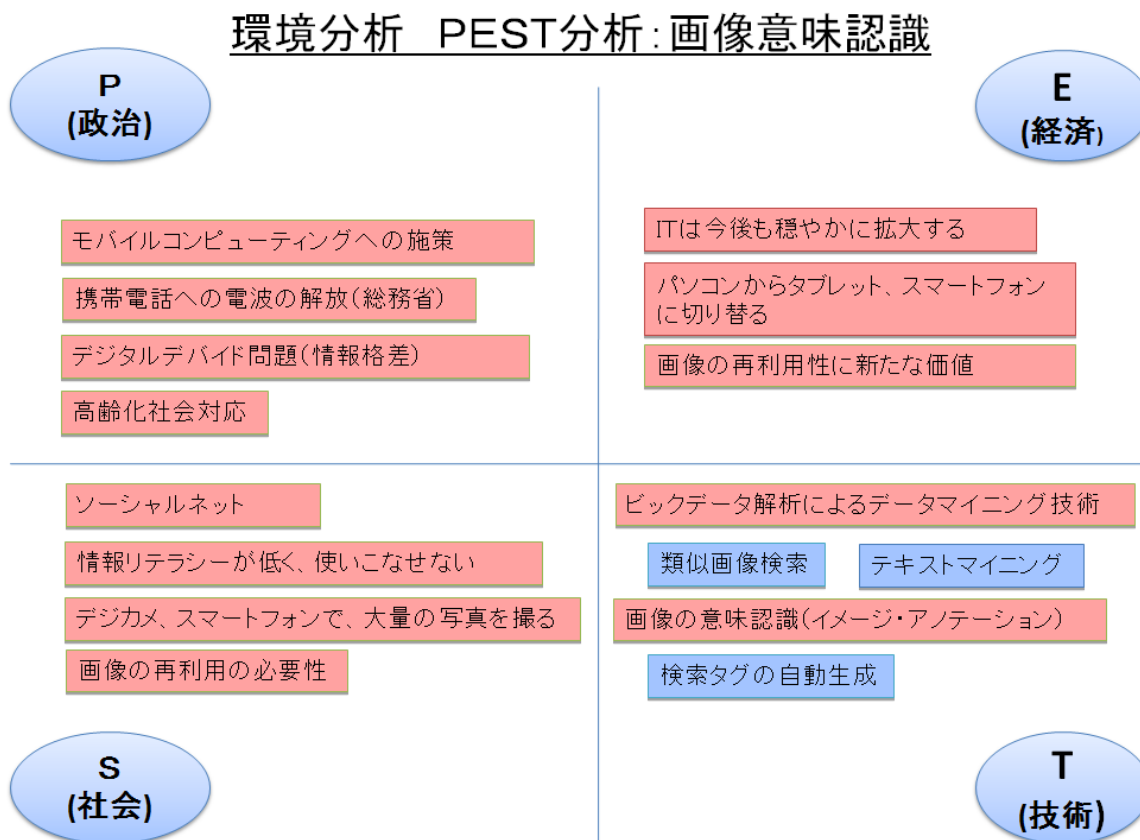


図 7-16 PEST 分析 (画像の意味認識事業)

### 7. 8. 2 3C分析

1) 顧客 (Customer) 分析：マクロな観点からいえば、市場の規模は、現時点で、スマートフォンによりネットワーク接続されている 18 億人の人々が対象である。市場の成長性は、4 年で 200% の数量となり、年間 15% 程度の成長が見込まれる。ミクロの観点からは、顧客開発モデルを用いた結果、スマートフォンで写真撮影する高齢者等の顧客が存在していることが確認できている。その際のバリュー・プロポジション、すなわち顧客のニーズは「PC やスマホに大量に保存された画像を自動で解析し、欲しい写真を言葉で簡単に見つけ出せる」ということである。なお、顧客は一般のユーザーまで対象を広げることが可能だと考えている。

2) 競合 (Competitor) 分析：意味認識という新しい技術上のアイデアのため、現時点で競合他社は存在しないと思われる。近年、類似画像検索などは多くなってきているが、テキストマイニングと結びつけて、検索キーワードを自動生成している例はない。

3) 自社 (Company) 分析：自社の強みとしては、長く培ってきた画像解析、画像認識技術があり、弱みとしては、顧客開拓ステップ、顧客へのリーチをどうするかがあり、これらは今後の課題である。

### 7. 8. 3 顧客のセグメンテーション、ターゲティング、とポジショニング

顧客セグメントは、スマートフォンやデジカメを使用して写真を撮影する人で、かつネットワークに接続可能な人のうち、画像を再利用するために画像の整理を必要とする人である。最大 18 億人と推定される。

特に、ターゲットとすべき顧客は、大量に撮影した画像を持っていて、時間がたってから写真を見返したい人、家族のイベントで検索したい人、画像アルバムが欲しい人など、画像を再利用する人である。

競合が存在しないため、戦略的なポジショニングは特段必要ないと考えるが、IT 技術の進歩は早いいため先行者優位を取れるような事業のしくみを構築していくことが必要だと考える。

### 7. 8. 4 マーケティング施策

**プロダクト**：個人が撮り貯めた大量の画像を検索可能にするアプリを法人ユーザーに提供する。これにより、スマートフォンカメラで撮影した写真を再利用する一般ユーザーに対し自動バックアップ機能と自動写真整理用の検索タグ生成サービスを提供する。画像意味認識サービスが完成したときのイメージ図は図 7-17 に示している。

**プライス**：当初はユーザーの獲得を第一と考えており、フリーミアム戦略により、フリー会員（無償ユーザー）によるユーザー獲得を行い、プレミアム会員（有償ユーザー）による課金の 2 つの種類の会員制をとる。有償ユーザーと無償ユーザーは、使用可能な機能の違いにより分ける。たとえば、顔を検出したときに、ユーザーが顔と名前が一致するように一回だけ設定することができるものとし、家族の顔認識ができれば、その後名前で検索できるサービスは、有償とするなどが考えられる。

また、写真やフォトブックにして物理的に残すプリントサービスは有償とする。なお、マイボイスコム の 1 万人の調査によると写真撮影を行った人の半分の人がプリント（自宅、お店、ネット）を行っている。

**プロモーション**：グロースハック手法を取り入れる。グロースハック手法とは、成長最適化という意味であり、その定義は、「極力お金を使わず、仕組みやアイデアでサービスを継続的に伸ばすこと」をい

う。たとえば、ユーザーへの表示画面を2パターン作成し、2パターンのうちどちらかが多くのユーザー登録してくれたかチェックする A/B テストを取り入れるなど、ユーザー数やアクセス数を定量化出来る指標を用いて、行動施策と結果をチェックして最適化を行う。

プレース： アプリケーションに関しては、販売チャンネルとして Google Play, apple app store を用いて無料ダウンロードを行う。

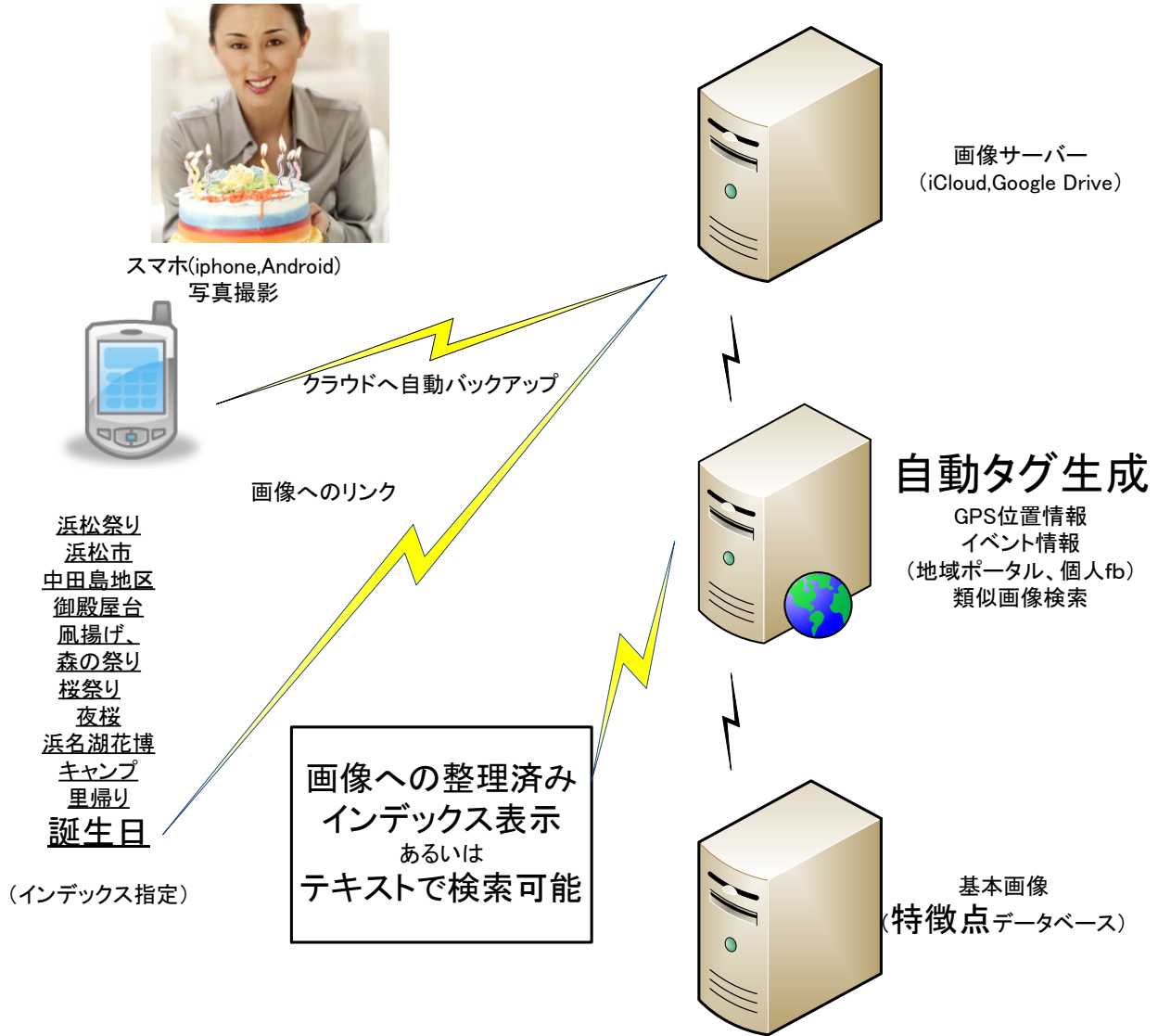


図 7-17 画像意味認識サービスの完成時のイメージ図

現在開発中のコンシューマー向けの MVP アプリケーションのユーザーインターフェースは、図 7-18 から図 7-22 の通りである。サーバーサイドでは、図 7-17 での画像意味認識サービスの完成時のイメージ図と同様のサービスが動作する。

## 7.9 まとめ

画像意味認識の技術は、大量の画像データの管理を容易にし、テキストベースでの検索を可能にすることから、当初、ストックフォト市場用の E コマースサーバーを MVP に設定して試作を行ってきた。しかしながら、調査の結果、ストックフォト市場は効率的な市場であり、価格破壊により大手の会社が崩壊する危険性を孕んでいることが分かった。ここで、効率的な市場とは、同じデータであれば1円でも安い E コマースサーバーから購入される市場ということであり、この市場に参入しても、自社のコアコンピタンスである画像意味認識の技術がうまく活用できないことが分かったため、方針の転換を行った。

すなわち、顧客発見インタビューを続けていくうちに、自分で撮影した画像を自動で管理したいというニーズが大きいことが分かった。この場合、画像の意味認識技術の API を開放して提供することにより、個人用途の画像整理から業務用の画像検索エンジンにまで汎用的に拡張できること、そして、市場規模のベースとなる画像数も年間 2 兆 1000 億データと相当な量があり、非常に大きな画像データ処理市場に展開できる可能性があることが判明した。特に、個人用のスマートフォン用のソフトウェアをターゲットとしていけば、スマートフォンで撮影した年間 1166 ショット（1 台あたり平均）を自動で整理し、言葉で検索可能にして画像の再利用を可能にする使い方が普及する可能性があることが分かった。個人用のスマートフォン用のソフトウェアは、画像認識技術によるタグ付けにより画像アイテムの検索をテキストで行ったり、画像アイテムへのナビゲーションを行うインデックスを自動生成させたリンクにより目的の画像にたどり着くことができるアプリである。



図 7-18 スマホアプリ (サムネール)



図 7-19 スマホアプリ画像詳細情報表示

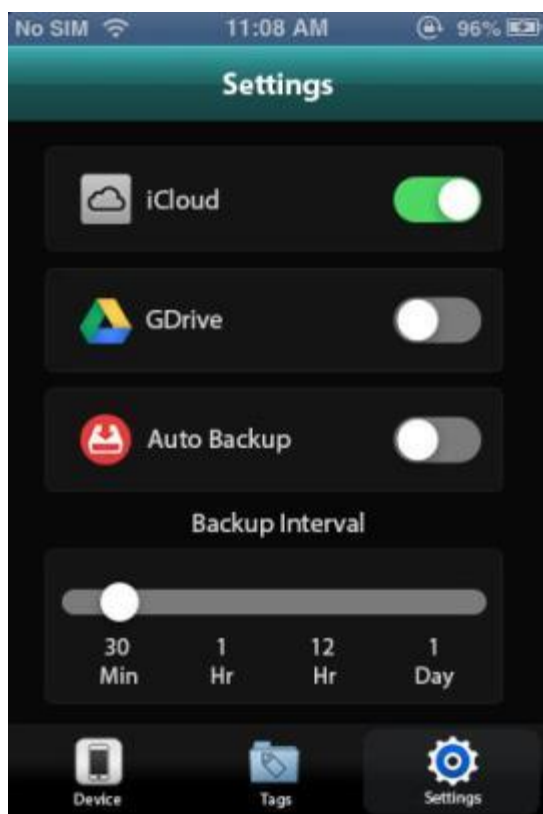


図 7 - 2 0 設定画面



図 7 - 2 1 Tag 表示画面 (自動生成 Tag 表示)

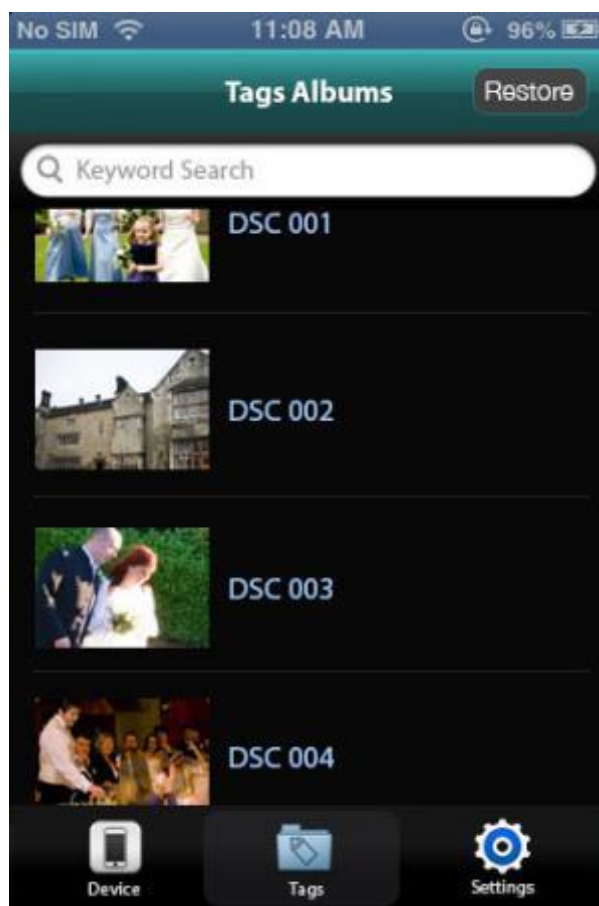


図 7 - 2 2 検索画面 (自動生成 Tag により画像を言葉で検索する)

## 第8章 当社の事業の実践状況と軌道に載せるためのロードマップ

本章では、アモーガイメージングの事業の実践状況を説明する。当社の製品は、三次元地形計測システムと画像の意味認識サービスである。

### 8. 1 実践状況

#### 8. 1. 1 地形形状計測システム関連

地形計測ソフトウェアの販売代理店としては、無人航空機ロボット（UAV）の製造販売を行っている海洋調査会社、ブルーイノベーション株式会社を考えている。専務の酒井氏は旧知であり、海岸の裸地の計測という使用用途が適しているため、販売代理店としてライセンス契約手続きを進めている。現在、評価版ソフトウェアの貸し出しを行っている。

広報活動としては、総務省 国土地理院の G 空間 Expo2014 の Geo アクティビティ・フェスタのプレゼンターとして応募し、採択された。2014年11月13～15日に日本科学未来館（東京・お台場）にて開催され、数千人の来場が期待される。採択された Geo アクティビティ・フェスタのキャプチャー画面を図8-1に示している。



図8-1 採択されたGeo アクティビティフェスタのキャプチャー画面

本フェスタに参加し、ヒアリングを行ったことで土砂災害のための地形計測には、想定したニーズがあることが判った。これに加えて、最新の土木施工技術で国土交通省が推進している情報化施工技術の起工測量部分に本地形計測が適用できる可能性があることが判り、調査ヒアリングにより顧客開発を進めている。

#### 8. 1. 2 画像の意味認識による検索可能化システム関連

当面は、画像の意味認識を知ってもらい広めていく。クラウド上のサーバーにソフトウェアの処理を行う実行ファイルを配置し、自社サービスとしてAPIサービスを事業展開する。このAPIサービスは、画



像データをサーバーに送ると解析結果を返信するサービスである。この自動サービスを行っている会社は、現時点（2014/9/3）では存在しない。このサービスを利用し、一般カスタマー用スマホアプリで MVP（必要最低限のスマートフォン上でのデモアプリ）を提供し、サービスを広めていく。

最終的には、本サービスのベネフィットに対して一般顧客に料金を支払ってもらう必要があるが、当面は、本サービスを多くの人に認知してもらうため、フリーミアム戦略を採用する。フリーミアム戦略とは、無料の会員を集客して行く中で、サービス機能を分類し、高い機能を提供する会員をプレミアム会員として有償とするものである。メーカーズの著者、クリスアンダーソンによれば、フリーミアム戦略では、全会員のうち 3% から 5% の会員を有償化出来れば成功とされる。サーバー運用に掛かる経費とソフトウェアのブラッシュアップ費用はプレミアム会員から獲得する。プレミアム会員としては、会員数 30 万人を目標として 1 万人ほど集めたいところである。

スマートフォンのアプリの場合は、最初は注目してもらえないことが多いが、カメラのアプリの例で見ると、いったん口コミに火がつくと、リクルート社の cameran のように、950 万ダウンロードというような場合もある。そうすると、サーバーサイドでの処理の遅れ等により、成長が止まるなどのさまざまな問題が出てくる可能性もある。

並行して、提供サービスの本命である企業向けサービスの準備を始める。本技術の応用としては、E コマースの商品の画像データベースの類似画像検索から、医療画像データベースの症例検索、例えば、病理医の診断前に細胞検査士が細胞を検査する際の補助に用いることなど、幅広く考えられる。あるいは、食事の画像からのカロリー計算など思いもかけない利用法が出てくると考えられる。以下は本技術の応用例である。

1) BtoB(企業向け画像データベース (社内で使う))、

- ・テレビ局、広告代理店、Web 制作会社などの社内の画像データの管理
- ・医療画像や医療データの分析への利用

2) BtoBtoB(企業向け画像データベースサービス)、

上記のような会社や組織に対し、画像データベースシステムを提供する企業への販売

3) BtoBtoC(コンシューマー向け画像データベースサービスを提供する企業)

類似画像検索により顧客に商品を勧めたりするための画像データベースの提供  
の 3 パターンについて、汎用的に顧客開発を進める。

本技術は、広い視野で考えれば、画像ばかりでなく、IOT (物のインターネット) で集めたセンサーデータをクラスタリングして分類し、テキストに変換し、データの検索性を高めることが出来る。したがって、データの価値向上に使うことが出来る仕組みであり、実際は、画像ばかりでなく汎用的に使うことができ、市場はかなり大きいと考えられる。例えば、数値データからテキストへのわかりやすい変換例を示すと、緯度経度の数値データからの地名変換、雨量計のデータの小雨、雨、大雨の天候データへの変換、さらには、医療の症例データの症例名への変換などが考えられる。

言い換えるなら、本技術は、収集した汎用的なデータをその業務分野で使われている言葉に変えることが出来る技術であり、幅広い応用が考えられる。たとえば、コマツ社の重機には各種の油圧システムの動作センサーデータと GPS の位置情報データがネットワーク化され、動作状況や位置がリアルタイムで遠隔モニタリングされており、油圧機器の故障や設備盗難などの誤動作を検出している。また、キヤノン社のコピー機では、リモート・メンテナンスで消耗品が自動手配され、ローラーなどの機構部品

の動作を確認したり、統計的な寿命データを入手して設計にフィードバックしている。さらに、このような IOT（物のインターネット）で集めたセンサーデータをクラスタリングして分類し、人間が理解できるテキストに変換し、データの検索性を高めることに用いることが出来る技術である。

地形形状計測と画像の意味認識の事業ロードマップを図 8-2 に示している。2013 年に株式会社アモーガイメージングを設立し、現在 2 期目である。本年度は、三次元地形形状計測システムではビジネスプランを実行するため国交省の展示会に出展し、海洋土木調査会社と一緒に販売を行っていかようとしている。認識技術を応用した画像の意味認識技術は研究開発を継続しており、来年には、画像の意味認識サービスが提供可能となる予定である。

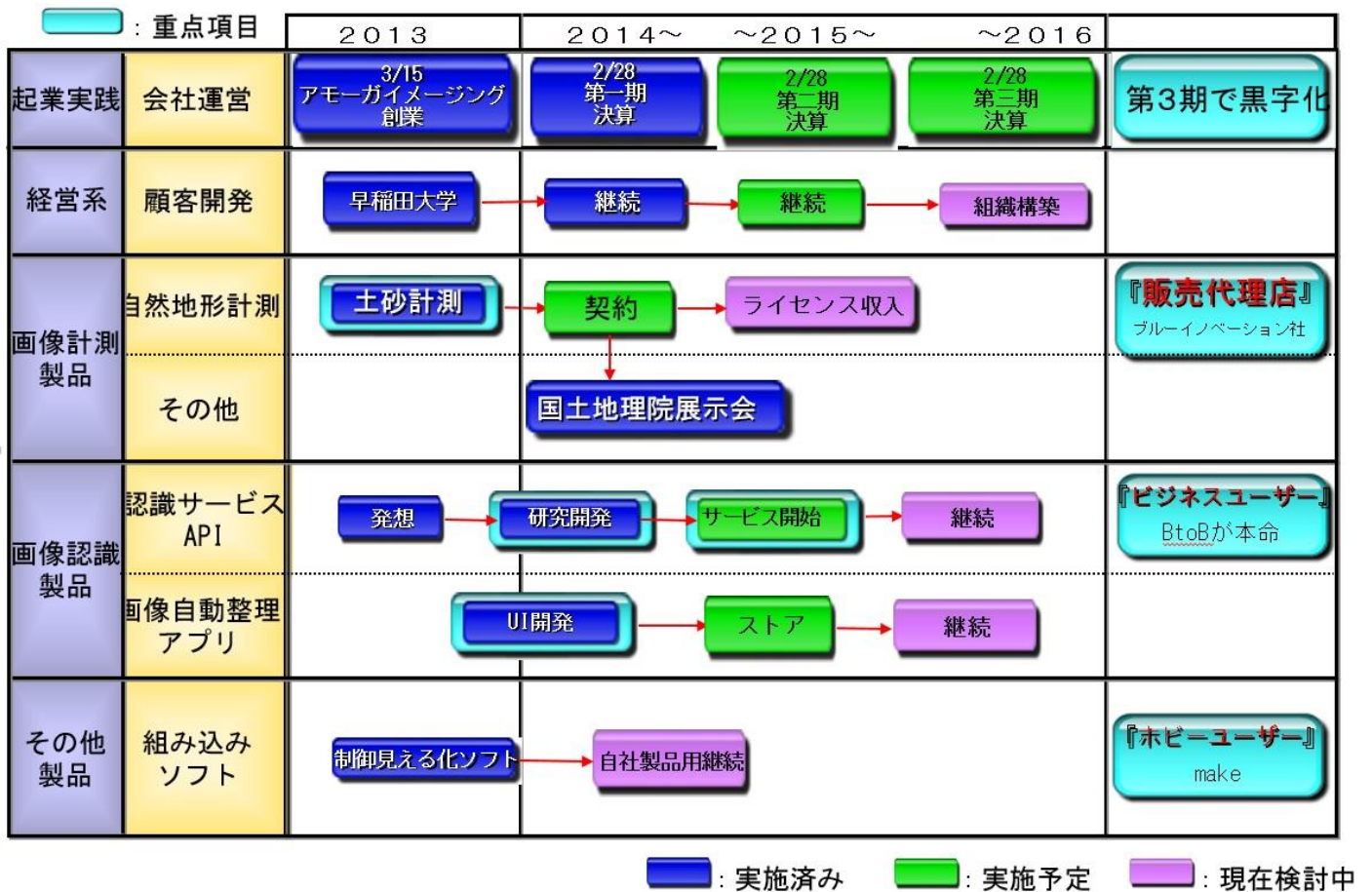


図 8-2 事業ロードマップ

## 8. 2 当社の中期事業計画

当社の今後5年間の損益および資金計画は、表8-1の通りである。三次元地形計測技術はソフトウェアの開発が終了しているため、従業員を雇わない場合には、売上の70%が経常利益となる見込みである。生み出されたキャッシュフローは、意味認識技術の開発に使用する。

表 8-1 事業のP/L C/Fの検討結果

		1年目 (2014)	2年目 (2015)	3年目 (2016)	4年目 (2017)	5年目 (2018)	
スケジュール	内容：三次元計測システム製品	基本版 ◆	◆				
			改良版 ◆			◆	
	内容：画像意味認識製品	API開発 アプリ開発	販売開始	サーバ強化 BtoB製品	サーバ強化 BtoB製品2	サーバ強化 BtoB製品3	
本事業収支	売上高(千円)	3,000	129,000	255,000	361,000	560,000	
	品名等	三次元計測	3,000(1台)	9,000(3台)	15,000(5台)	21,000(7台)	30,000(10台)
		意味認識	0	120,000	240,000	360,000	560,000
		有料会員数		(10000人)	(20000人)	(30000人)	(50000人)
	資金需要	10,000	15,000	0	0	0	
	設備投資	0	0	0	0	0	
その他	0	0	0	0	0		
事業収支等	① 売上高	3,000.-	129,000.-	255,000.-	361,000.-	560,000.-	
	② 売上原価・経費	12,000.-	100,000.-	120,000.-	200,000.-	320,000.-	
		内、研究開発費	(10,000)	(30,000)	(50,000)	(75,000)	(100,000)
	③ 経常利益	-9,000.-	1,000.-	5,000.-	7,000.-	10,000.-	
	④ 減価償却費	0	0	0	0	0	
	⑤ 資金調達	15,000	15,000	0	0	0	
		金融機関	0	0	0	0	0
その他		15,000	15,000	0	0	0	
従業員数(人)	0(7)	2(15)	10(22)	20(30)	30(40)		
	国内(海外)						
営業CF	営業収入	3,000.-	129,000.-	255,000.-	361,000.-	560,000.-	
	売上原価	2,000.-	100,000.-	150,000.-	151,000.-	200,000.-	
	人件費販売費	0	5,000.-	50,000.-	100,000.-	150,000.-	
	販売費一般管理費	1,000.-	15,000.-	30,000.-	100,000.-	200,000.-	
	営業C/F	0.-	9,000.-	25,000.-	10,000.-	10,000.-	

売上算出の根拠としては、土砂災害計測の需要をターゲットとし、商品としては、無人航空機 (UAV) 一式を含め、計測システムの価格を 300 万円程度に設定している。この商品を当初 3 台くらいから販売していく。公共セクターでは実績が求められるので、まずは最初の顧客の獲得に勤める。

画像の意味認識システムに関しては開発途中であり、顧客が集まってくるまで経費がかかると考えている。8. 1. 2 節で説明したプレミアム戦略を取った場合の想定で売り上げを計算している。プレミアム会員は全ユーザー中 3% を想定し、それ以外をフリー会員とし、フリー会員中 5.8% は、1 年間に 1 回はネットの写真店で写真プリントをする人の比率である (マイボイスコム調べ)。その人たちが、アプリのリンクを通して、画像データを使ったフォトブックをプリントした場合のアフィリエイト収入を想定したが、プレミアム会員収入に比べてアフィリエイト収入は 4% 程度で、あまり期待できないので表からは除外した。

・ 2 年後の 2015 年目標 : 全会員数 30 万人

プレミアム会員数 (3%) 1 万人 \* 月会費 1000 円 = 1 億 2000 万円 (プレミアム会費)

フリー会員数 (97%) 29 万人 \* 5.8% \* 300 円 = 500 万円 (アフィリエイト収入)

・ 4 年後の 2017 年目標 : 全会員数 100 万人

プレミアム会員数 (3%) 3 万人 \* 月会費 1000 円 = 3 億 6000 万円 (プレミアム会費)

フリー会員数 (97%) 97 万人 \* 5.8% \* 300 円 = 1680 万円 (アフィリエイト収入)

### 8. 3 成長のための事業組織 (現状と将来)

現在の画像意味認識アプリの開発チームの事業組織は、図 8-3 の通りである。当社の開発拠点は海外にあり、青枠内にあるチームとなっている。サーバーサイド API 担当 (技術者 2 名) と携帯用アプリケーションの開発 iPhone の IOS 担当とアンドロイド担当技術者各 1 名とである。他に、サーバーエンジニアが 1 名稼働中で、数人での開発が効率的なため、このように成長を担保する構成となっている。

テキスト処理を担当しているテキストマイニングエンジニアは、東証マザーズ市場に IPO したホットリンク社 (証券コード : 3680) の CTO (最高技術責任者) だった人であり、この分野で 2 年は先を行っている。なお、ホットリンク社は、ビッグデータのうちのテキストに関するマイニング処理を得意としており、掲示板や Twitter のデータ解析を行ない、マーケティングのトレンドを提供している会社である。参考までに、ホットリンク社の時価総額は、現在 100 億円ある。人気が沸騰した時は、時価総額が 400 億円以上あった。

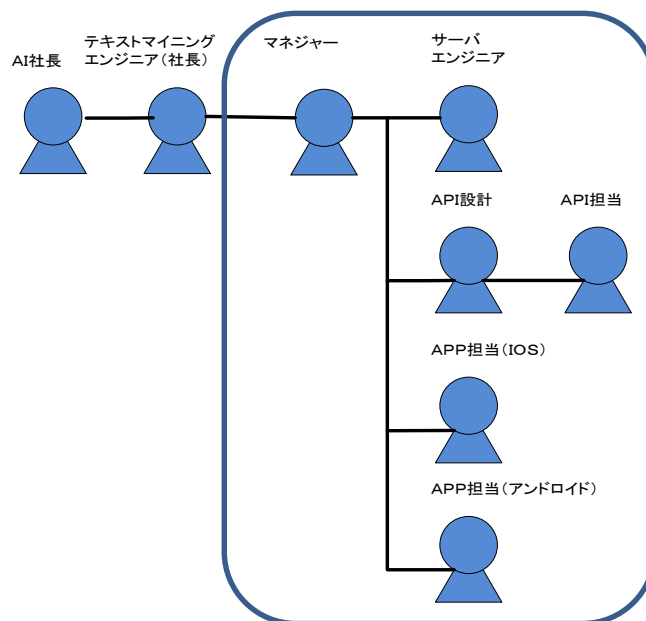


図8-3 現在の開発チーム（青枠内は、オフショア）

また、1年後のサーバーの運用チームと開発チームの構成は図8-4の通りである。運用チームは、バグ終息とともに小さくなる。開発チームは解散せず、サーバーの運用チームに移行する。オフショアでは、ソフトウェア開発の仕事を国内の5分の1の価格で行える。また、国内の経営チームは、現在協力を申し出ている人が2名おり、彼らを経営チームに取り込む。

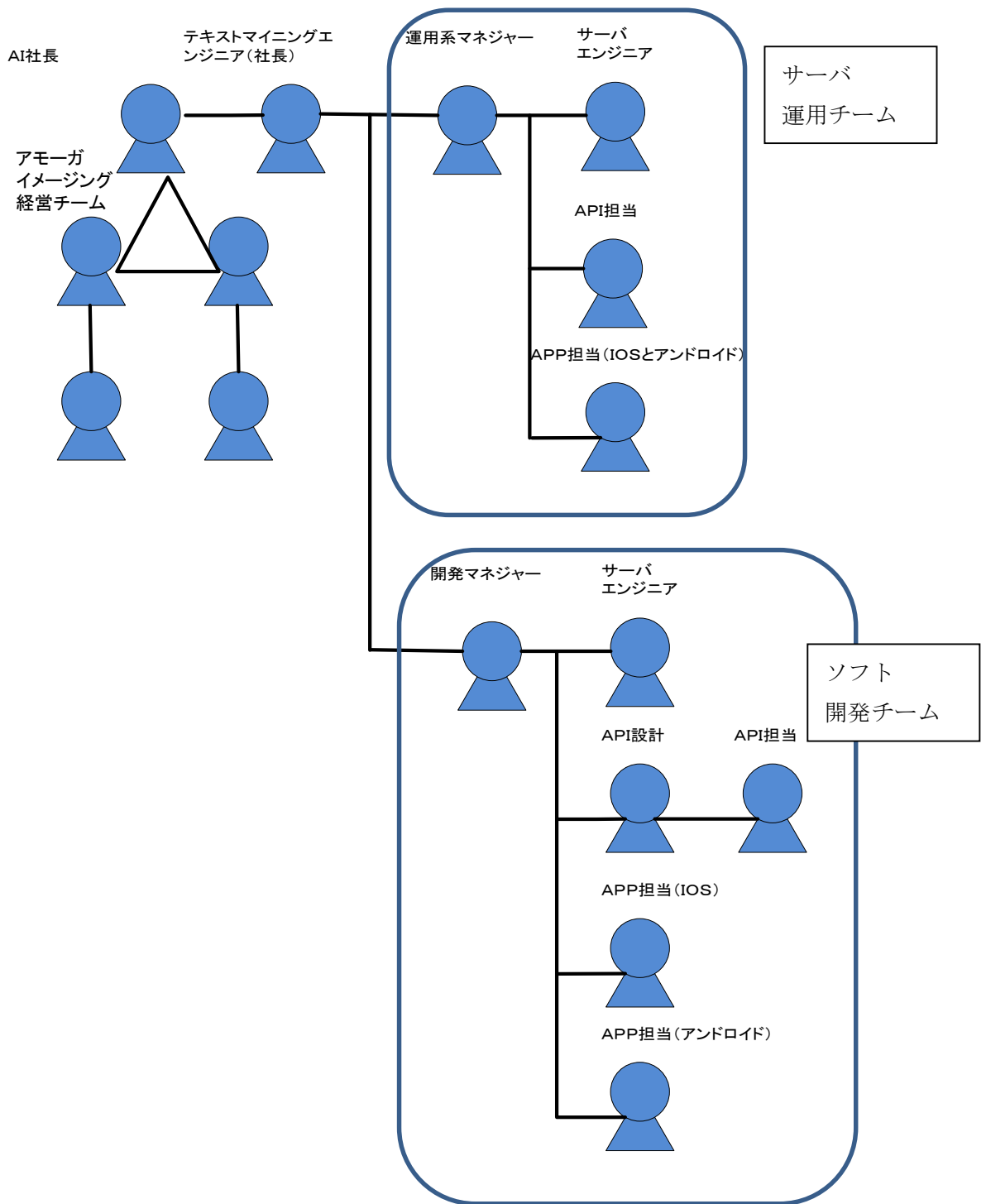


図 8 - 4 事業立ち上げ後のサーバー運用チームとのソフト開発チーム（青枠内は、オフショア）

## 第9章 結論

本論文は、画像認識技術を利用した二つのシステム開発と株式会社アモーガイメージングによる事業化について述べている。一つは、画像認識技術を応用した三次元地形形状ソフトウェアの開発とそれを利用した砂丘等の自然地形の形状計測システムの事業化である。もう一つは、画像認識技術を応用した画像の意味認識による画像の検索可能化システムと顧客開発の現状である。これらの技術は、いずれもコンピュータが自然環境を認識したり、人間とより円滑にコミュニケーションを行ったりするための基盤となり得る技術であり需要が大きく、事業化の見込みも大きい。

浜松ホトニクスが参加した遠州灘プロジェクトにて、砂浜の形状を計測し、気象インパクトによる変動を高頻度にモニタリングするため、砂浜等の自然画像から既存ソフトウェアを用いて三次元地形形状計測を行った。しかしながら、自然環境下の砂浜では輝度が滑らかに変化し特徴点が少ない場合があるため、特徴点の抽出を目視で行う必要があり自動化が困難であった。

画像認識の技術的課題としての三次元地形形状計測システムのための特徴点抽出の条件とは、

- a)砂浜のなだらかさや礫や小石のエッジ画像の輝度変化を特徴として抽出する。
- b)形状を再現するためには、取得する特徴点が、少なくとも数 1000 点以上必要である。
- c)特徴点が、画像にもよるが数 10cm 間隔で画像全体にメッシュ状に様に分布していること。

の 3 条件を満たすことが必要である。この条件を満たすアルゴリズムとして、砂浜の画像からの特徴点の取得は、各種のアルゴリズムを検討した結果、第一世代の特徴点の取得法である 4 次の離散 Wavelet 変換にて行うことで、従来出来なかった自然地形の画像認識による三次元形状の計測を可能とする技術が開発出来た。この技術開発により、短時間で自動的に地形形状を取得することが可能となり、高頻度での地形モニタリングを可能とする本システムは、販売可能な市場が広がる可能性が出てきた。顧客開発の結果、全国の市町村では自然災害に関して地形計測を行うことが法律で義務づけられていること、人が現地に行けないような危険な場所の計測にニーズがあることがわかり、当社は、海洋土木調査会社の協力を得て本システムを販売することとした。また、土砂災害のための地形計測に加えて、最新の土木施工技術で国土交通省が推進している情報化施工技術の起工測量部分に本地形計測が適用できる可能性があることが判り、調査ヒアリングにより顧客開発を進めている。

ただ、このような事業では飛躍的な発展が望めるような知識集約型企業になることは容易でない。当社が目指すのは、画像認識技術を土台として研究開発を行い、自社のコア技術の価値を最大限に活用できるような企業である。

一方、昨今、スマートフォン等を使用して大量の写真が撮影され、画像が膨大に蓄積されるようになったが、撮影画像を再利用するためには、目視により内容を確認するか、または、人間により付与されたタグと呼ばれる画像に関連付けられたテキストにより画像を検索するしかない。

しかしながら、新たに撮影される画像の数は膨大であり、人間がタグを付与することは効率的ではない。そこで、画像を意味認識してタグ付けを行い、検索可能化が行える技術が今後必要となる。そこで、類似画像検索により検索した類似画像の付随するタグをコピーして利用するタグ付けを提案した。さらに、基本技術として類似した画像が検索できることを示した。また、認識率向上には、画像からの対象の切り出しが問題となるため、一般的に画像の変化が集中する部分が認識対象であると考え、地形計測で使用した Wavelet 特徴点を利用する自動タグ付けシステムを考案した。これは、膨大な画像データの価値を向上させることが出来る技術である。

顧客開発モデルを用いて本システムの事業化を検討した結果、写真撮影を行い、ネットワークを利用

し、画像の再利用をする人たちに対し、写真を言葉で簡単に見つけ出せるというサービスを提供すればビジネスモデルが成立することが判明した。顧客市場の規模は世界で約 18 億人、成長性は年間 15%程見込むことができる。現段階では競合は存在しないが、先行者優位を取れるような事業の仕組みを構築する。具体的には、当初はユーザー獲得を第一としたフリーミアム戦略を採用し、画像の検索可能化アプリケーションを法人顧客に提供するとともに、エンドユーザーには自動写真整理用の検索タグサービス等、実際に商品となる画像整理アプリを作成して提供することを計画している。

以上



## 謝辞

本研究がこのようにまとまるに至ったのは、終始多大なる御指導をいただきました光産業創成大学院大学高橋宏誠教授、石井勝弘准教授、花山良平講師、瀧口義浩教授、坪井昭彦教授のお陰であり、心より感謝いたします。本論文の作成にあたり、御指導と御教示を賜った光産業創成大学院大学・加藤義章学長、宇佐美健一特任教授に厚く感謝いたします。

本研究は光産業創成大学院大学と浜松ホトニクス株式会社において行われたものであり、留学の機会を与えて頂きました晝馬輝夫大学最高顧問兼取締役会長、晝馬明大学理事長兼代表取締役社長、原勉中央研究所長、山下豊研究主幹兼第7研究室長に深く感謝いたします。

大学内の教員、学生、事務局の方々に多くの御指導をいただきました。先輩方や鈴木英夫氏（クリスタルホトインダストリー(株)）には、アドバイスをいただきました。また、大学リエゾンセンターの江田英雄教授には、特許出願に関しまして、様々なアドバイスをいただきました。

本論文の遠州灘プロジェクトの実験に関しまして、指導や御討論を賜りました宇多高明室長（(財) 土木研究センターなぎさ総研室長）、石川仁憲主任研究員（同）、三波俊郎氏（海岸研究室（有））に深く感謝いたします。また、豊橋技術科学大学 青木伸一教授（現大阪大学教授）、加藤茂教授、片岡三枝子技術職員、東京大学工学部佐藤慎司教授や、派遣元の浜松ホトニクス(株)の多く方にご指導をいただきました。坂本繁氏、天野嘉久氏、牧野謙二技術管理室長、野崎健社長室長、稲田充代氏をはじめとし、諸氏に御協力をいただきました。皆様に深く感謝いたします。

浜松ホトニクス（株）の技術部第4G～中央研究所、開発本部勤務時代に、画像計測の様々な分野におきまして研究・開発の御指導をいただきました故土屋裕教授始め、黒野剛弘氏、若森和彦氏、山下貴司氏、故小池清司氏、三輪光春部長に感謝いたします。

また、顧客開発モデルに関しまして、文科省の研究成果の事業化のための顧客開発プログラムにおいて、指導および御討論をしていただいたラーニング・アントレプレナーラボ株式会社の堤孝志氏、飯野将人氏に感謝いたします。

## 参考文献

- [1]浜松ホトニクス 40 年史編纂委員会編:光と共に—浜松ホトニクス 40 年の歩み—(浜松ホトニクス株式会社 平成 6 年) pp301-302.
- [2]Ed Lee : 写真はどこに行くのか? CP+ 2014 インフォトレンド デジタルイメージング セミナー資料 (Infotrens 社 2014).
- [3] 技術分野別特許マップ作成委員会編:技術分野別特許マップ 電気 2 画像認識技術 特許庁 (社団法人発明協会 平成 9 年) .
- [4]館野之男編:ポジトロン CT, (医学書院 1983).
- [5]安野 嘉晃:光コヒーレンストモグラフィの歴史とトレンド (特集 光波コヒーレンス断層撮像法の潮流(ステート・オブ・ジ・アーツ)) 光アライアンス 23(8), 1-3, 2012-08 (日本工業出版 2012).
- [6] 長井 敦, 久野, 白井: 時空間情報に基づく侵入者監視システム 電子情報通信学会技術研究報告. PRU, パターン認識・理解 95(470),(1996) 49-54.
- [7] 尾上, 塩野:自動車画像からのナンバープレートの抽出とその漢字を含む全文字の切出しと認識,電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-情報処理 J77-D-2(3), (1994) 483-492.
- [8] 妹尾,厚井,貞包 [他]: 生体認証によるネットワーク個人認証システム 情報処理学会論文誌 44(4), (2003) 1111-1120.
- [9] 高橋知敦:印鑑照合システム金融機関における導入事例 沖テクニカルレビュー 2003 年 1 月/第 193 号 Vol.70 No.1 (沖電気 2003).
- [10] 酒井幸市: 画像処理とパターン認識入門 (森北出版 2006) .
- [11] 金澤靖,金谷健一: コンピュータビジョンのための画像の特徴点の抽出 電子情報通信学会誌 Vol.87 No.12 (2004) 1043-1048.
- [12] 藤吉,山下: 物体認識のための局所特徴量 コンピュータビジョン最先端ガイド 2 (アドコムメディア社 2010) .
- [13] 金谷健一: 空間データの数理 | 3 次元コンピューティングに向けて | (朝倉書店 1995).
- [14] 徐剛: 写真から作る 3 次元 CG | イメージ・ベースド・モデリング&レンダリング | (近代科学社 2001).
- [15] 高木幹雄, 下田陽久(監修): 画像解析ハンドブック(東京大学出版会 1991).
- [16] Paul Viola and Michael J. Jones : Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features. IEEE CVPR, 2001.
- [17] Navneet Dalal and Bill Triggs : Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. IEEE CVPR, 2006.
- [18] David G. Lowe : Object Recognition from Local Scale-Invariant Features. Proc. of the International Conference on Computer Vision, Corfu (Sept. 1999).
- [19] D.Lowe : Distinctive image features from scaleinvariant keypoint, Int' l J. Computer Vision, 60, 2 (2004) 91-110.
- [20] 三井、山内、藤吉: Joint 特徴量を用いた 2 段階 Boosting による物体検出,電子情報通信学会論文誌 D,Vol 92-D,No.9 (2009)1591-1601.
- [21] 三井,藤吉 [他]: Joint HOG 特徴量による物体検出--人検出、車両検出の高精度化に向けて,画像ラボ 21(5), 12-17, 2010-05 (日本工業出版 2010)
- [22] 三田,金子: 顔検出に適した共起に基づく Joint Haar-like 特徴,電子情報通信学会論文誌 D,Vol 89-

D,No.8(2006) 1791-1801.

[23] S.G.Mallat : A Wavelet Tour of Signal Processing, ( Academic Press1999).

[24] Mark Nixon & Alberto Aguado : Feature Extraction & Image Processing, Gabor wavelet,(Academic Press 2008) pp61-64.

[25]岡谷貴之：バンドルアジャストメント,コンピュータビジョン最先端ガイド3 (アドコムメディア社 2010) .

[26] 織田和夫:講座:バンドル法, 第一回バンドル法概論と用語, 写真測量とリモートセンシング, VOL.51, NO.1 (2012) 54-61.

[27] 那須充:講座:バンドル法第二回バンドル法と空中三角測量の歴史, 写真測量とリモートセンシング, VOL.51, NO.2 (2012) 108-120.

[28] 新名恭仁:講座:バンドル法第三回空中三角測量におけるバンドル法の実装(1), 写真測量とリモートセンシング, VOL.51, NO.3 (2012) 155-162.

[29] 新名恭仁:講座:バンドル法第四回空中三角測量におけるバンドル法の実装(2), 写真測量とリモートセンシング, VOL.51, NO.4 (2012) 237-245.

[30]小野徹:講座:バンドル法第五回フリーネットワークのバンドル法への適用、写真測量とリモートセンシング、VOL51,NO 5 (2012) 310-320.

[31]小野徹:講座:バンドル法第六回精密工業計測におけるバンドル法とカメラキャリブレーション、写真測量とリモートセンシング、VOL 51,NO 6 (2012) 387-396.

[32]高地伸夫:講座:バンドル法第七回地上測量におけるバンドル法とカメラキャリブレーション、写真測量とリモートセンシング、VOL.52,NO.1(2013) 10-22.

[33]織田和夫:講座:バンドル法第八回コンピュータビジョンとバンドル法、写真測量とリモートセンシング、VOL.52 NO.2 (2013) 75 - 83.

[34] E.M.Mikhail,J.S.Bethel,J.Chris McGlone : Introduction to Modern Photogrammetry, Mikahail の高速化非線形最小二乗法 (John Wiley & Sons,Inc 2001).

[35] 藤沢瑞樹: 実践大規模データ分析 第4章クラスタリング 自動的なデータのグループ化,WEB+DB プレス、Vol.59(2010) 105-112.

[36] 山本有作: 特異値分解アルゴリズムの最近の発展, システム/制御/情報 : システム制御情報学会誌 VOL.58 NO.8 (2014) 315-320.

[37] Herbert Bay, Andreas Ess, etc : Speeded-Up Robust Features (SURF) Computer Vision and Image Understanding Vol.110.issue 3 (2008) 346-359 .

[38] Java 画像処理ライブラリ中の画像比較関数

<http://www.lac.inpe.br/JIPCookbook/6050-howto-compareimages.jsp> [Accesses on 25 May 2014].

[39]宇多高明:日本の海岸浸食 (山海堂 1997) .

[40]Takaaki Uda : JAPAN'S BEACH EROSION (World Scientific 2010).

[41] Lippmann, T. C. and R. A. Holman : Quantification of Sand Bar Morphology: A Video Technique Based on Wave Dissipation, JGR, Vol. 94 (1989) 995-1011.

[42] 鈴木高二朗,高橋重雄,山縣延文,堀田 治,栗山善昭,Stefan Aarninkhof,Gerban Ruessink,Irv Elshoff : ARGUS ビデオ解析による宮崎住吉海岸の長期地形観測, 海岸工学論文集, 第 49 巻 (2002) pp571-575.

- [43] 宇多高明,石川仁憲,三波俊郎,湖内真帆,進藤 豊,和田昌明：定点カメラ画像の判読と幾何補正法による養浜効果の定量的測定, 海岸工学論文集, 第 57 卷 (2010) pp.591-595.
- [44]大江健：新版・なぜ新規事業は成功しないのか BMO 法について (日本経済新聞社 2004)
- [45]社内起業研究会：成功する事業 失敗する事業—新しい評価法 BMO のすべて (日本能率協会マネジメントセンター 1991)
- [46]総務省：G空間×ICT推進会議報告書 平成 25 年 6 月 28 日  
[http://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/01tsushin01\\_02000105.html](http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01tsushin01_02000105.html) [Accesses on 25 May 2014].
- [47] Christopher D.Manning, Prabhakar Raghavan, Hinrich Schutze：情報検索の基礎 (共立出版 2012).
- [48] Satnam Alag：集合知イン・アクション (ソフトバンククリエイティブ 2009).
- [49]スティーブン・G・ブランク, ボブ・ドーフ 堤孝志, 飯野将人訳：スタートアップ・マニュアル (翔泳社 2013).
- [50]スティーブン・G・ブランク, 堤孝志,渡邊哲訳：アントレプレナーの教科書 (翔泳社 2009).
- [51]エリックリース：リーン・スタートアップ (日経 BP 2012) .
- [52]Brant Cooper,Patrick Vlaskovits：顧客開発モデルのトリセツ (Amazon Kindle 版 2012).
- [53] アレックス・オスターワルダー, イヴ・ピニユール：ビジネスモデル・ジェネレーション ビジネスモデル設計書 (翔泳社 2012)
- [54] University of California, Berkeley - Haas School of Business 編：NSF Innovation Corps(i - Corps)：Executive Summary(2013)： <http://faculty.haas.berkeley.edu/lyons/nsficorps.pdf> [Accesses on 9 Jan 2014].
- [55] 川上昌直：ビジネスモデルのグランドデザイン (中央経済社 2011).
- [56] 高橋宏誠：戦略経営バイブル (PHP 研究所 2010)
- [57] 坂本桂一：市場の空席を見つけるフォーカス・マーケティング (日本実業出版社 2014).
- [58] 野村総合研究所 ICT・メディア産業コンサルティング部編：IT ナビゲーター 2015 年版 (東洋経済新報社 2014).
- [59] 香川景一郎他：3次元カメラとしての小型薄型複眼カメラ TOMBO の可能性と展開、映像情報メディア学会技術報告 34(43) (2010) 37-40.
- [60] エベレット・ロジャーズ：イノベーションの普及、(翔泳社 2007).
- [61] 石川仁憲, 宇多高明, 三波俊郎：粗粒材養浜時の海浜の質的变化と礫の移動特性, 海洋開発論文集, 第26 卷 (2010) , pp. 1077-1082.
- [62]長島郁夫, 岩崎伸昭, 宇多高明, 有村盾一：遠州灘海岸の天竜川河口以西の侵食実態, 海岸工学論文集, 第52卷 (2005) , pp. 596-600.
- [63]日本写真測量学会：写真測量とリモートセンシング 2013 50周年記念号(2013).
- [64] I. マクミラン：米の新規参入前チェック, 魅力度評価の魅力は?, (日経産業新聞 1990).
- [65] Alexander OSTERWALDER：THE BUSINESS MODEL ONTOLOGY A PROPOSITION IN A DESIGN SCIENCE APPROACH (2004).
- [66]西村吉雄：産学連携—「中央研究所の時代」を超えて (日経 BP 社 2003) .

- [67]Kline, S.J. : Innovation System in Japan and the United States : Cultural Bases; Implications for Competitiveness. (Stanford University Press, Stanford 1990) . (鴨原文七訳『イノベーション・スタイル：日米の社会技術システム変革の相違』(アグネ承風社 1992)) .
- [68] 高橋義仁：創薬研究開発の成功要因に関する研究-R&D マネジメント・モデルの導出-早稲田大学大学院アジア太平洋研究科博士学位論文(2010).
- [69] 栗田多喜夫：サポートベクターマシン入門, 産業技術総合研究所 脳神経情報研究部門(2002).
- [70] Antti Martikainen : Developing a service offering for a logistical service provider-Case of local food supply chain, Int.J.ProductionEconomics(2013)
- [71]石井ら：ビジネスモデルギャラリーVOL.1 (中小企業政策研究会 2014)
- [72]石井ら：ビジネスモデルギャラリーVOL.2 (中小企業政策研究会 2014)
- [73]桜井春輔ら：トータルステーションを用いた地盤変位計測手法の開発. 建設工学研究所報告 32 (1990) 1-20.
- [74]浪江宏宗ら：仮想基準局 (VRS) 方式による RTK-GPS の評価. 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.84 No.12(2001) 2160-2168.
- [75]齊藤和也監修：航空レーザー計測基礎から応用まで.日本測量技術調査協会(2008), pp9-11.
- [76]中野和也：高級測量機器としての小型カメラ.写真測量とリモートセンシング 50 周年記念号(2013) pp87-90.
- [77]土居弘元：価値焦点思考による新規事業への参入検討について,三田商学研究第 37 巻第 2 号(1994).
- [78]花嶋正昭：自動タグ生成装置、自動タグ生成システム 特願 2014-187748.

## 業績目録 原著論文 知的財産 受賞等

### 原著論文

・花嶋正昭・坂本 繁・宇多高明・三波敏郎・石川仁憲：海浜地形変化モニタリング用の可搬型三次元計測システムの開発，土木学会論文集 B2（海岸工学 2011），Vol.67，No.2，I\_1356-I\_1360.

（Development of Portable Measurement System of 3-D Beach Topography for Monitoring of Beach Changes）

### 学会発表

第 58 回海岸工学講演会（盛岡市，岩手県民情報交流センター）

海浜地形変化モニタリング用の可搬型三次元計測システムの開発

期 間：2011 年 11 月 10 日(木) 16:30-16:50 アイーナホール

主 催：土木学会（担当：海岸工学委員会）

### 採択

1) 文部科学省主催「研究成果の事業化ための顧客開発プログラム」早稲田大学理工学術院  
画像意味認識が採択され、顧客開発モデルを日本における一次リソースである堤氏、飯野氏に学んだ。（2013 年より 2014 年）

2) 総務省、国土地理院主催「G 空間 expo 2014 内、Geo アクテビティフェスタ」  
写真測量による三次元自然地形計測ソフトウェア ImageMatch 3D がプレゼンターに採択された。（2014 年 11 月）

3) 文部科学省グローバルアントレプレナー育成促進事業（EDGE プログラム）  
WASEDA-EDGE 人材育成プログラム(2014)  
ビジネスモデル仮説検証プログラムに、地形計測技術の情報化施工への応用が採択された。

### 受賞

・ICT 教育推進協議会賞

2012 年 5 月 26 日に東京大学本郷キャンパス工学部で開催された第 1 回 ICT プログラミングコンテストで、ICT 教育推進協議会賞を受賞

### 特許出願

【発明の名称】自動タグ生成装置、自動タグ生成システム

【出願番号】特願 2014-187748 【出願日】平成 26 年 9 月 16 日

画像意味認識システム構成全体と、地形計測で特徴点抽出に用いている Wavelet 変換による特徴点を求め、各特徴点座標のヒストグラムにより特徴点分布の重心の位置を計算することで、認識対象を全体画像から、関心領域として抽出することが出来る。この部分を、発明の一部として特許出願した。

### 補助金公募等

三年間に行った補助金等への応募は以下の通りである。

- 1) 福島放射線量マップ可視化プロジェクト（科学技術戦略推進費）
- 2) 「高信頼性マルチキャストを用いたクラウド向けコンテンツ配信プラットフォーム」（大学発新産業創出拠点プロジェクト）
- 3) 夢をかなえるソーシャルメディアを用いたストックフォト事業（しずぎん起業家大賞）
- 4) 自動検索タグ生成機能に特徴を有する画像データベースを用いた画像販売プラットフォーム（浜松市新産業創出事業費補助金）