

CCDカメラを用いた物理的復興度 自動観測システムの開発

Development of Recovery Process Observation System
using CCD camera after a disaster

東田 光裕¹, 牧 紀男¹, 林 春男¹

Mitsuhiro HIGASHIDA¹, Norio MAKI¹ and Haruo HAYASHI¹

¹ 防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター

Earthquake Disaster Mitigation Research Center, National Institute for Earth Science and Disaster Prevention

The disaster process or recovery process is an essential factor as well as the knowing hazards for disaster management. Many pictures of the same location by same interval were taken after the 1995 Kobe earthquakes and the 1999 Taiwan Chi-Chi earthquakes. Physical Recovery Index from a disaster was developed. This system is able to distribute the images of disaster process thought the Internet by setting up CCD camera at the impacted area. This system is usable not only for recording Recovery Index for a disaster but also for actual disaster management.

Key Words: disaster management, disaster process, recovery process, CCD camera, Observation system

1. はじめに

筆者らのグループは災害過程を明らかにする事を目的に研究を行っている。災害過程とは「災害が発生してから復興が完了するまでに、被災地ではどのような種類の問題が、どの程度の規模で、どのような順番をもって発生し、それに対してどのような解決策が存在するかについての系統的な知識」である。これまで災害過程に関する情報は主として質問紙による意識調査、インタビューやヒアリングによる災害エスノグラフィー調査を用いて、人々が災害に対していただく認識や、意見、行動に関する言語報告として収集されてきた。こういった研究としては林らのグループによる一連の研究がある^{1)~5)}。また、災害過程を考える上で被災地全体の復旧・復興状況を示す指標として、経済的な活動を指標とした災害過程の研究に経済的復興度がある。経済的復興度の例として、GRP(Gross Regional Product; 地域内総生産)⁶⁾やその地域における電力消費量⁷⁾などの経済活動を指標とした研究がある。しかし、災害過程をより正確に理解するためには、人々の認識・意見・行動の報告として言語化された情報や経済活動による指標だけでなく、そうした指標の背景となる被害の状況、避難所の様子、建物が撤去・再建される、道路が設置されるといった物理的な環境変化に関する情報と関連付けて解釈する必要がある。言いかえれば、災害過程の全体像を明らかにするためには、被災者の認識や意識と、物理的な動きとの相互関係を明らかにする必要がある。

災害発生後に被災地が示す物理的な環境の変化を記録するためには、長期にわたる継続的な対象の連続観測が必要となる。こうした連続観測は、地震計等の機材を用いた継続的な観測が基本的な情報収集の方法となってい

るように自然科学の分野ではごく一般的な手法である。災害発生後の定点観測という面では、余震観測とよく似た特徴を持っている。

そして、災害過程における物理的な環境変化を定量的に分析するためには、連続観測の結果から得られるデータを地図データあるいは画像データ情報として収集・蓄積していく必要がある。

例えば、自然科学的な連続観測分野では、火山活動の監視、河川の流量監視等に CCD カメラを用いた監視システムが利用されてきた。しかし、CCD カメラを用いた災害過程の連続観測の事例はない。そこで、市街地に建設される構造物の量を物理的復興度と考え、その観測に CCD カメラを用いた連続観測の手法を構築した。現在、以下のような課題の解決を目的に、調査研究を行っている。

- 1) 地域の復興過程に関する連続観測体制の構築プロセスの合理化
- 2) 各種社会的制約を持たない許可観測画像の選定
- 3) 観測画像の蓄積・解析手法の開発
- 4) 観測システムの信頼性の向上
- 5) 観測コストの軽減

そこで本論文では、観測画像の蓄積・解析手法の開発について考察を行う。

2. 観測システムの概要

(1) システムの概要

図1に災害過程の概要を示す。これまでに、阪神・淡

路大震災で大きな被害を受けた神戸市長田区御菅西地区と1999台湾集集地震災害で大きな被害を受けた台湾南投県中寮郷永平村地区において連続観測を行っている。現在観測を行っているシステム構成の概要を図2に示す。以下、その詳細について述べる。

(2) 神戸市長田区御菅西地区の連続観測

神戸市長田区御菅西地区は1995年1月17日に発生した阪神・淡路大震災で全壊全焼242棟、半壊34棟、全半壊率83%（全棟数334棟）という非常に大きな被害を受けた。95年4月23日に「御蔵5・6丁目町づくり協議会」が設立され、2回のまちづくりアンケートを踏まえ「まちづくり提案」を作成し、96年9月13日に神戸市に提出した。97年1月14日に土地区画整理事業の事業

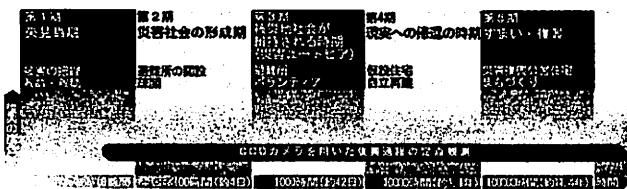


図1 災害過程の概要

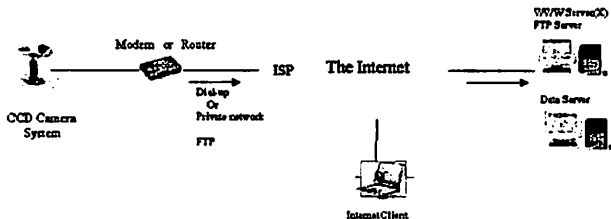


図2 システム構成の概要

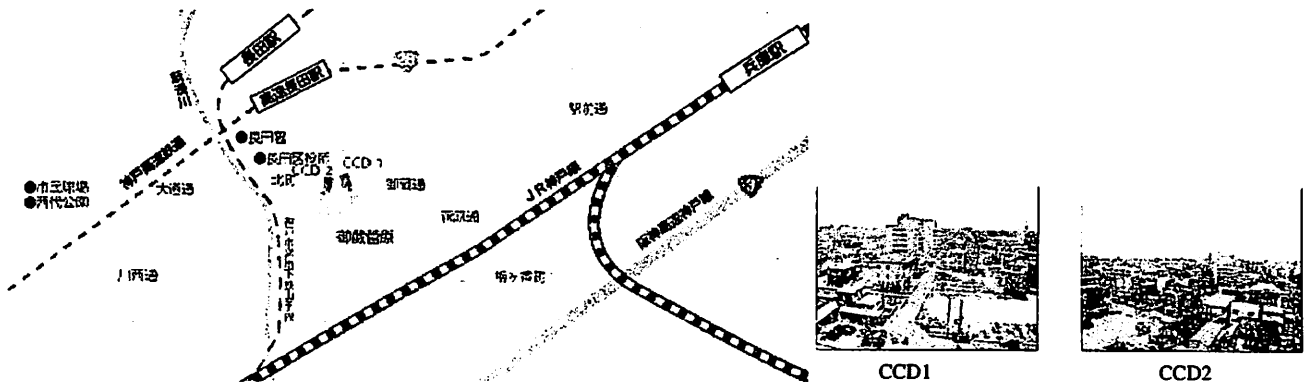


図3 長田区御菅西地区のカメラ設置場所とその画像

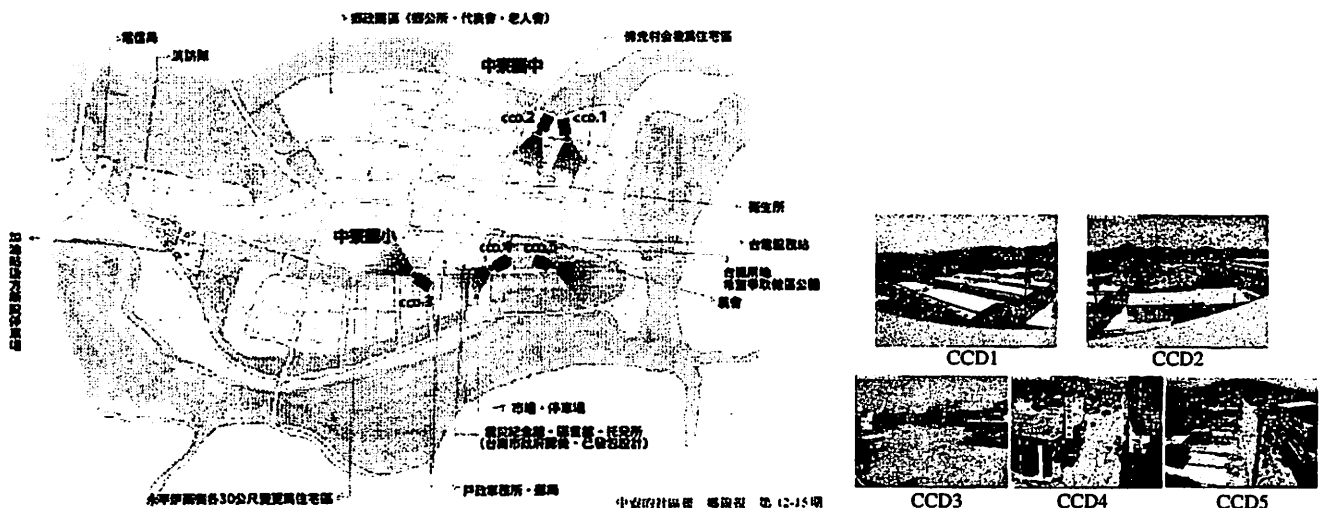


図4 台湾南東県中寮郷永平村地区のカメラ設置場所とその画像

決定が行われ、98年1月12日に仮換地指定が始まった。また、共同化事業も行われ「みくら5」が完成した。現在の映像は「みくら5」の屋上に設置した2台のCCDカメラからのものである。映像の配信にあたってはまちづくり支援ボランティア「まち・コミュニケーション」に多大なるご協力を頂いた。画像の配信は2001年3月19日から開始し、1日2回、10時と14時に画像を撮影・配信している。図3にカメラの設置場所とその画像を示す。

(3) 台湾 南投県中寮郷の連続観測

台湾南東県中寮郷永平村地区は1999年9月21日に発生した集集地震により、死者179名、全壊2,542戸、半壊1,424戸という大きな被害を受けた地域である。現在、中原大学の支援の下、復興計画の策定が行われている。中寮ではハード面での復興だけでなく、新たな産業を興し地元産業の活性化をめざすプロジェクトも並行して行われている。映像の配信にあたっては中寮郷郷所、中原大学に多大なるご協力を頂いた。中寮では役場、図書館、公民館といった公共施設を含む仮設市街地が形成されており、被害を受けた市街地の画像と同時に仮設市街地の画像も撮影している。現在の画像は、仮設役場の屋上に2台、中原大学の事務所屋上に1台、通りに面した2軒の住宅の屋上にそれぞれ1台の計5台のCCDカメラからのものである。画像の配信は、2000年11月より試験運用を開始し、2001年4月19日から正式運用を開始した。1日2回、10時と14時（現地時間：日本時間-1時間）に画像を撮影・配信している。図4にカメラ設置場所とその映像を示す。

3. 物理的復興度の解析手法

(1) 画像解析手法

毎日撮影される画像を連続的に写すことで風景や建物の変化を直感的に感じ取ることは可能である。しかし、それだけでは、定量的な判断が出来ずどのような時期にどのくらいの復興が起こったかを知ることは出来ない。そこで、本論文では、画像処理技術を用いて、都市の復興度を自動判別し数値化する方法を検討する。

現在、人工衛星画像を用いたリモートセンシングをはじめとして多くの画像解析手法が紹介されている⁸⁾。今回の観測で得られる画像は、640*480 ピクセルの JPG 形式で圧縮された画像ファイルである。画像処理に用いた CCD カメラは、人工衛星の画像のように高解像度のものではなく約 30 万画素程度である。しかし、解析を行う上で最も異なる点は、

- ・同一地点を撮影している
- ・サンプルとなる画像(1日2枚)が豊富に存在する

ことである。このような、撮影された画像の特徴から、解析するための最適な方法を検討する必要がある⁹⁾。単純に2枚の画像を比較するだけでは目標とする結果は得られない。本論文では特に、画像が持っている色情報に着目し検討を行った。これまでの研究の結果から課題として、

①場所による制約

- ・天候(快晴・曇り・雨)による画像全体の明度差

②技術的な課題

- ・建物などの影による影響
- ・季節による太陽高度の違い
- ・看板、屋根等による太陽光の反射

③人間活動

- ・車、人などの移動物体による影響

などが挙げられる。このような課題を解決するための画像処理技術について考察を行う。図5に画像の解析フローを示す。

(2) 移動物体の除去

撮影の被写体が住宅地であるため、日々人や車が往来している。そのため、たまたま撮影された画像の中にそのようなものが存在する場合がある。これらの物体が画像内で占める割合が小さければ解析に問題はないが、例えば、長田区御菅西地区の画像を例に考察すると、カメラは6階建てのマンション屋上に設置されている。高さとしては地上約20mである。そこから撮影される画像で最も影響がある場所に4m×2mの物体(車に相当)が存在した場合、画像全体の約1%を占めることになる。もし、ある日の画像に10台の車が存在した場合最大10%が無効な部分となる。そこでこのような物体を除去する方法として、複数の画像から平均的な画像を作成する方法を選んだ。具体的には、同じ位置でのピクセル値から最大値と最小値を除いた画像のピクセルを選択する。理由としては、これらの物体の特徴で連続して同じ場所に存在することが少ないためである。長田区御菅西地区で撮影された3/25、4/6、4/20の3日間の画像から作成された画像を図6に示す。これらの結果からもわかるように、それぞれの日に画面手前に停車している車、3/25の画面中央に停車している数台の車についても全て除去されている。さらには、4/6の画面手前に写っている人影についても除去されており、非常に効果的な方法であることがわかる。さらに精度を上げるには、サンプル数を増やすことなどが考えられる。

(3) 比演算処理

画像を RGB(R:レッド,G:グリーン,B:ブルー)の各チャン

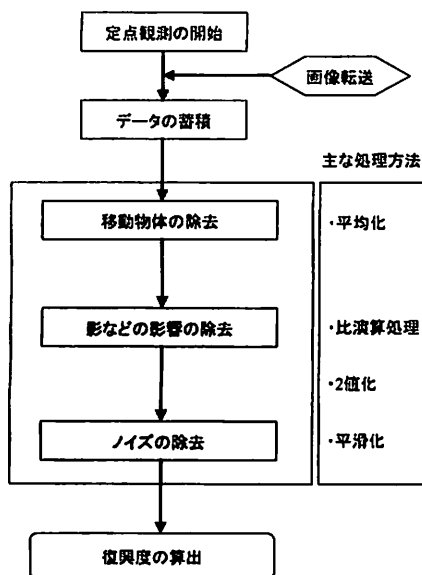


図5 画像の解析フロー

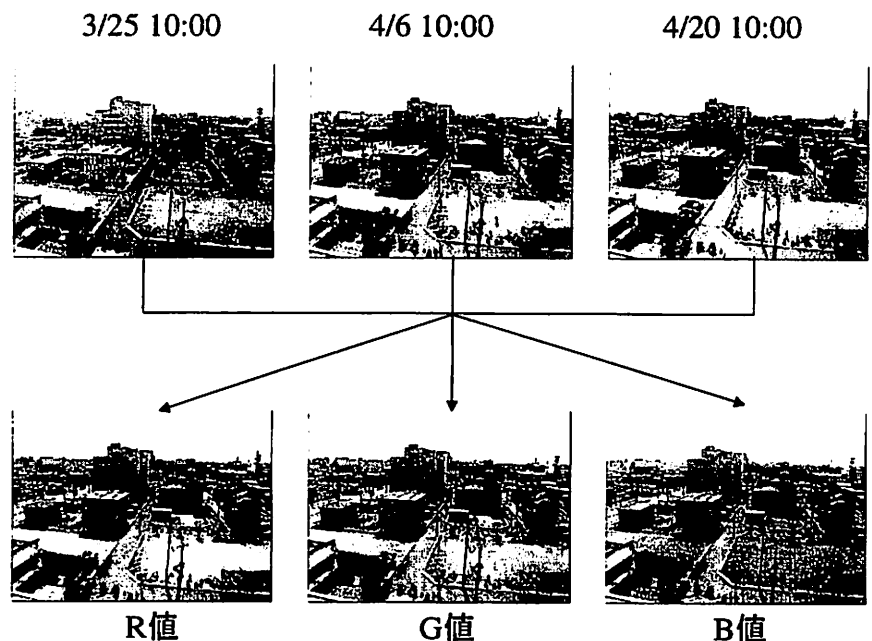


図6 画像の平均化

ネルに分解することによりそれぞれの値の特徴を生かした検討を行った。太陽光による、建物の壁の色の変化や影による影響を考慮して、比演算処理^{10), 11)}を応用し RGB 値の補正を行い太陽光による影響を低減した。本論文で用いた比演算処理は、まず対象画像から各 RGB 値を持った RAW データに変換する。そして、それぞれの値を、 R 、 G 、 B としたときに下記の式 (1) (2) を用いて規準化を行った。最後に 100 倍しているのは、そのままでは数値が小さくなりすぎるためである。

$$R' = \frac{R-G}{R+G} \times 100 \quad (1)$$

$$B' = \frac{B-G}{B+G} \times 100 \quad (2)$$

本論文では、特に画像の特徴から R' の値に注目して解析を行った。また、画像の比較を定量的に求めるために (1) (2) の式で得られた値を用い、式 (3) により 2 枚の画像を比較した。

$$\Delta R = |R_0 - R_1| \quad (3)$$

ΔR : 比較結果画像

R_0 : 比較対象前画像

R_1 : 比較対象後画像

さらに解析結果を強調するために、閾値により画像のピクセル値を黒色と白色に 2 値化した。今回用いたのは

3/35, 4/6, 4/20 から得られた画像



5/18, 19, 20 から得られた画像



比演算処理
+
2 値化
+
閾値 5



図 7 比演算処理結果



3/23



5/18



閾値 5



閾値 8



閾値 10

図 8 閾値による 2 値化処理結果

閾値=5 である。その結果を、図 7 に示す。

(4) 閾値の設定

2 枚の画像の比較を行った場合に、ある一定の値より小さい変化を不特定の要素による無効な変化と考え、解析結果から取り除く必要がある。しかし、これらの閾値は比較する画像によって異なるため一意的には決まらない。今後は、適切な閾値を求める手法を検討する必要がある。また、車などによる影響で極端な値を示しているところについてもそれらの原因を除去する手法の検討が必要である。異なる閾値により得られた画像を 2 値化処理したものを図 8 に示す。閾値を大きくすれば比較の対象となるピクセル数が少なくなるため、より変化分が強調される。また、図 8 からわかるように、閾値を小さくした場合は、ノイズが多くなり、正確な判定が難しい。

(5) 平滑化

図 8 において、ノイズ的な部分がかなりあることがわかる。これらの原因は、建物や道路のエッジ (境界) 部分で見られることから、その部分での太陽光などの光の反射影響が特に強調されていると思われる。このようなノイズを除去するには、平滑化が有効である。格子により 3×3 (ピクセル) や $n \times n$ のマスクをかけ、値の統合化を行う。

例えば、 10×10 の格子を考える。今回対象としているものは、復興の指標となるものつまり、道路や住宅などである。これらの変化量と補間を行う格子の関係を調べると、

1 ピクセルあたりの実際の大きさ : 5~30 (cm)

建物等の大きさ : 5~30 (m)

である。つまり、この格子は、50 cm~3m の範囲をあらわしている。これと、建物等の大きさを比べたとき明らかに建物の方が大きくなることからわかる。このことから閾値を格子内のピクセル数の半数以下に設定した場合、ノイズピクセルを除去することができる。この結果を、図 9 に示す。

また、このデータに関しては、

(格子サイズ, 閾値) = (20×20 , 80)

では有効とみなすピクセル数が少なく効果的にノイズが除去できなかった。逆に格子を大きくした場合、

(格子サイズ, 閾値) = (30×30 , 450)

では、ウインドウのサイズが大きくなり、対象とする画像が多いため、結果的に全てノイズと判断され真黒となった。

平滑化前画像



(ウインドウの大きさ
有効ピクセル数)



(3×3 , 5)



(10×10 , 50)



(20×20 , 100)



(20×20 , 80)

図 9 平滑化処理結果

(6) 数値化

これまでの解析で得られた有効ピクセルを擬似的に数値化することにより復興度を考える。そこで、

- 1) 各ピクセルに対応する敷地面積は距離を変数とする1次元関数である
- 2) カメラ設置箇所は、高い位置にあり伏角が十分小さい。

と仮定すると、解析により得られた有効ピクセルについて、その1ピクセルから推定される敷地面積を求めることができる。今回設置した長田と台湾では、カメラの位置が対象物に近いので遠近差が大きくなる。次に、2)については、できるだけ高い場所に設置することにより、建物による影の影響を防ぐことができる。今後は、数値化の自動化と精度向上に向けた検討を行う予定である。

5. 長田区御菅西地区の物理的復興度

(1) 観測値の表現方法

次に観測データをどのように表現するかという問題がある。複数の観測地点、事例の相互比較を行う場合、さらに計測データを用いて解析を行う場合には観測値の表現形式の標準化を行っておく必要がある。地震計の場合、当初は変位を計測していたが、現在は加速度を計測するものが一般的である。

物理的復興度の例としては、その地域毎に指定されている値である容積率（建築物の延べ面積の敷地面積に対する割合）及び建ぺい率（建築物の建築面積の敷地面積に対する割合）などが指標として考えられる。

今回の観測の対象である兵庫県神戸市長田区御菅西地区の容積率と建ぺい率の最大値は、それぞれ200%と

60%である。つまり、容積率が200%となるためには4階建以上の建築物でなければならない。しかし、この地区のほとんどの建築物は2階建以下の低層建築物である。結果、容積率が200%となることはほとんどないと考えられる。以上の考察より、物理的復興度を式(4)により定義することができる。

$$R_T = \frac{BC_T}{BC_0} \times 100(\%) \quad (4)$$

R_T : T時点における物理的復興度

BC_0 : 建築基準法上の対象地域の最高建ぺい率

BC_T : T時点における対象地域の建ぺい率

また、物理的な復興の終了は都市計画的な観点から規定されている。すなわち、場所毎に都市計画的により建ぺい率、容積率が規定されておりその数値に到達した時点を復興の終了と見なすことができる。本論文では、式(4)で定義される復興度を各観測時に時系列的にプロットしておく事が標準的な観測値の表現方法であると考えられる。

(2) 実測値と観測地の比較

CCDカメラによる観測の開始からの期間が数ヶ月と短いために有効な変化はほとんど現れていない。図10に御菅西地区の被害状況^{注1)}、図11¹²⁾に仮設住宅の設置状況、図12¹²⁾に現在の状況と長田に設置した1台のCCDカメラ(CCD1)による観測の結果抽出された建物を示す。

(3) 復興度モデルの作成

地震計の場合は地震が発生した後、1/100秒毎に観測データを得ており時間ごとの観測値を表現している。しかし、復興度の場合、人間の感覚としての時間軸はログ軸であるのに対し¹³⁾、物理的復興については御菅西地区の場合、震災後6年が経過した現在、最も大きな変化が発生する。

また、御菅西地区の復興に関わる動きを表1に整理する。すなわち、1995年1月17日に被害が発生し、その後、被害を受けた住宅が解体されるが、実際に恒久的な建築物が建設する事が可能になる仮換地指定までに3年が経過している。その間、仮設建築物は建設されたが恒久的な建築物が建設される事は無かった。また、現在も工事は進行中であり、2003年3月末に工事完了予定である。

したがって、御菅西地区の物理的な復興度のモデルは

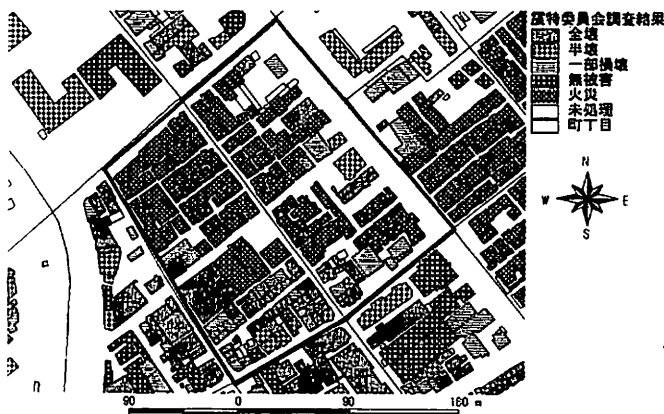


図10 御菅西地区の被害状況

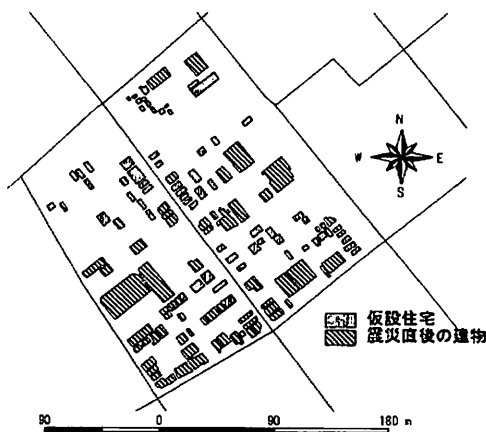


図11 仮設住宅の設置状況

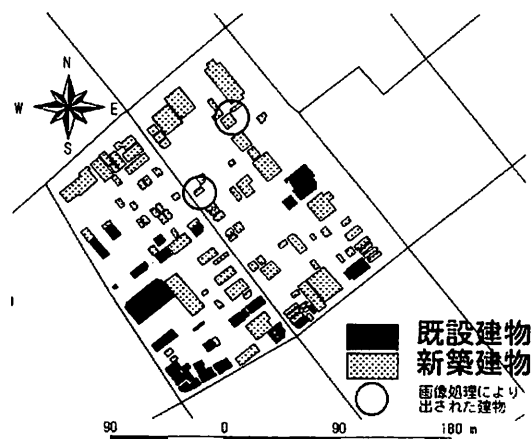


図12 御菅西地区の現在の状況

図13のようになるが、これでは検討を行うのに不向きであるので、復興度をより効果的にあらわすような時間軸の決定が必要になる。これは台湾の観測事例に顕著に現れており、震災から約2年が経過しようとしているが、被害を受けた被害地には変化が発生していない。神戸においても、震災から5年経った12年1月に、応急仮設住宅から恒久住宅への移行が完了した事実がある。

震災復興に対して人間が認識する時間軸と物理的な復興の時間軸が全く異なっており、この事が特に都市計画決定された地域の人々が復興に対して不満を感じる原因となっている可能性はある。

表1 御菅西地区の復興に関する動き

1995年1月17日	阪神・淡路大震災発生
1995年3月17日	第1段階都市計画決定
1995年4月23日	御蔵通5・6丁目まちづくり協議会設立
1995年5月～6月	まちづくりアンケート実施
1995年9月～10月	まちづくりアンケート実施
1995年9月13日	「まちづくり提案」を神戸市に提案
1997年1月14日	事業計画決定
1997年2月28日	第2段階都市計画決定
1997年3月10日	土地区画整理審議会委員の選出
1997年11月27日	地区計画決定
1998年1月12日	仮換地指定開始
1999年1月	みくら5期工
1999年4月	みすがコーポ竣工
1999年12月	みくら5竣工
2000年3月	みすがコーポ竣工

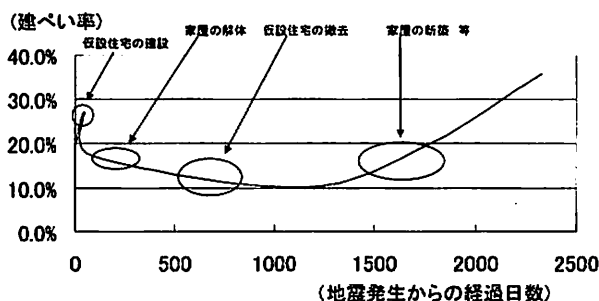


図13 御菅西地区の復興度モデル

6. まとめ

ここまで、CCDカメラを用いた被災地画像の連続撮影データから物理的復興度を測定するシステムの提案を行ってきた。今後の課題としては、

- 1) 観測画像を観測値への変換システムの技術的信頼性の向上
- 2) 物理的復興度の解析手法の検討

が挙げられる。1)については、今後、本論文で述べた課題について技術的に解決を進めて行きたい。2)については、地震計の事例が参考になる。地震計の場合、観測された地震動のインバージョンから震源の断層モデルを確定する手法が開発されている。物理的な復興度を観測する事の最終的な目標は物理的な復興の予測可能なシミュレーションを行う事にある。そのためにはどのような要素が復興の速度に影響を与えるのかといった、係数についても検討する必要がある。また、物理的な復興だ

けが復興ではなく、生活復興に関する諸側面との科学的相関について検討し、本当の復興指標を作成するための検討も必要になる。

謝辞

本論文を執筆するにあたり、防災科学研究所地震防災フロンティア研究センター松岡昌志氏には、画像処理全般についてご指導いただき、三富創氏には、プログラミング技術についてご指導いただきました。ここに記して感謝いたします。

また、長田区御菅西地区の観測にあたってはまちづくり支援ボランティア「まち・コミュニケーション」に、台湾での観測にあたっては、台湾防災研究所の陳亮全先生、中原大学の喻肇青先生、中寮役場の皆さんに多大なるご協力を頂きました。

補注

- (1) 図10は、震特委員会が行った建物被災度調査結果を建設省建築研究所が地理情報システム化を行ったデータを利用した。

参考文献

- 1) 林春男、重川希志依：災害エスノグラフィーから災害エスノロジーへ、地域安全学会論文報告集、No.7、pp.376-379、1997。
- 2) 大阪市立大学生活科学部宮野研究室、財団法人都市防災研究所：兵庫県南部地震による被災者の対応行動の時空間連関に関する研究－西宮市を事例として－、1997。
- 3) 木村玲欧、林春男、立木茂雄、浦田康幸：阪神・淡路大震災後の被災者の行動とすまいの決定に関する研究、地域安全学会論文集、No.1、pp.93-102、1999。
- 4) 木村玲欧、林春男、立木茂雄：阪神・淡路大震災後の被災者のすまい再建における決定とその規定因に関する研究、地域安全学会論文集、No.2、pp.15-24、2000。
- 5) 田中聡、林春男、重川希志依、浦田康幸、亀田弘行：災害エスノグラフィーの標準化の手法－インタビュー・ケースの編集・コード化・災害過程の同定－、地域安全学会論文集、No.2、pp.267-276、2000。
- 6) 高島正典、林春男：広域地震災害における復旧・復興状況の時空間的な推移、地域安全学会論文報告集、No.1、pp.1-8、1999。
- 7) 高島正典、林春男：電力消費量時系列データを指標とした復旧・復興過程のリアルタイム観測手法に関する基礎的研究、地域安全学会論文報告集、No.8、pp.348-353、1998。
- 8) 長谷川均：リモートセンシングデータ解析の基礎、古今書院、pp.56-90、1998。
- 9) 小椋山雅之、橋寺晋、牧紀男、林春男：DMSP/OLS 夜間可視画像を用いた早期被災地推定システム (EDES) の開発、EDMテクニカルレポート、No.10、pp.20-36、2001.3。
- 10) リモートセンシング協会編、リモートセンシング用語辞典、pp.186、共立出版、1989。
- 11) 長谷川 弘忠、空撮ハイビジョン映像におよび航空写真を用いた自身による被害建物の目視および自動判読、EDMテクニカルレポート、No.5、pp.6-4、6-5、2000.3。
- 12) まち・コミュニケーション、月刊まち・コミ 8月号 pp2-3、2001.8。
- 13) 大阪市立大学生活科学部宮野研究室、財団法人都市防災研究所：兵庫県南部地震による被災者の対応行動の時空間連関に関する研究－西宮市を事例として－、1997。

(原稿受付 2001.6.11)