



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY

北海道地区自然災害科学講演会
平成23年3月22日

災害科学と社会の関わりあいを見つめて
Research on relationship between Natural
Disaster Science and Social Activities

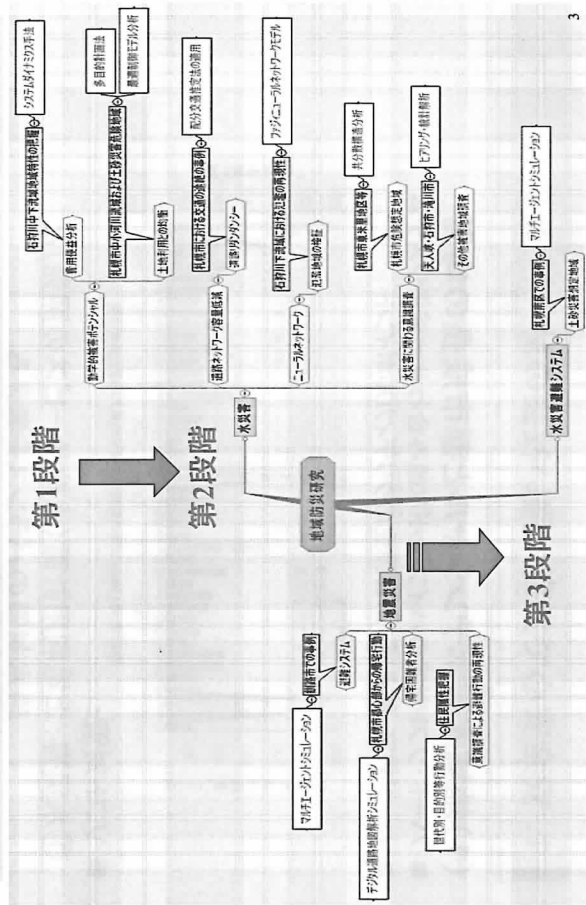
0. はじめに

災害科学との関わりあい

- 持続可能な社会を構築する→政策工学研究
政策工学:政策作りを立案、設計、プロセス、評価など工学的的方法論
- 戦略的な計画技術と問題に対するアプローチ
戦略的とは:長期的視野、複合的思考で特定の目標を達成するために力や資源を総合的に用いること
- ー安全安心で災害に強い社会の計画技術:災害問題
- ー環境にやさしい都市交通機能の計画技術:都市交通問題
- ー環境との共生による環境評価技術:環境評価問題

2

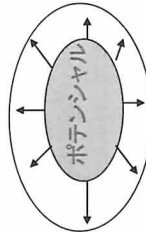
地域防災研究の過程



3

取り組みの紹介:災害と社会の関わりあい

- 第1段階:災害ポテンシャルの評価と活用
 - ① 水害の動学的被害ポテンシャル
 - ② 被害ポテンシャルと都市化の関係
- 第2段階:寡少な災害情報の取り扱いと道路ネットワークのリダンダンシー
 - ③ 新たな方法による災害現象再現化
- 第3段階:人間の災害行動-特に避難行動
 - ④ 避難行動の再現化とモデルの活用
 - ⑤ 帰宅困難者シミュレーション

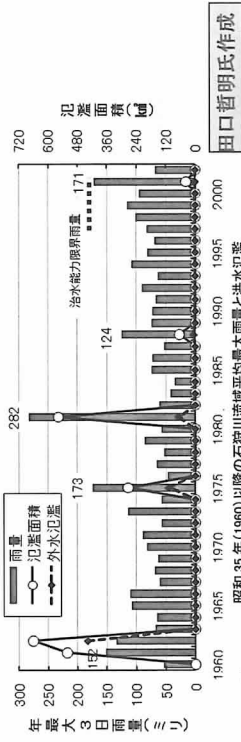


4

1. 安全安心で災害に強い社会の計画技術

(1) 地域水害ポテンシャルと都市成長の均衡

- ハード・ソフト対策のハイブリッドな組み合わせ⇒減災システム
- ハード対策: 例えば、水害発生のカリテカルポイント



■ ソフト対策:

- ① 水災害: 土地利用計画(土地サージビスの開発)と治水対策のバランスを考える
- ② 地域の自助・共助・公助システムによる避難行動のすすめ
→ 地域防災力

5

河川整備と地域の関わり合い

動学的期待被害ポテンシャル

$$DP(t) = \int_{Q1}^{Q2} P(Q) Dt(Q) dQ$$

P(Q): 洪水流量Qのときの生起確率、
Dt(Q): 洪水流量Qのときのt年度被害、
Q1: 最小洪水流量(被害が0となる)、Q2: 最大洪水流量。
被害は時間的に変化するもので、動学的期待被害ポテンシャルと定義。
動学的期待被害ポテンシャルは、氾濫原での資産集積や、生産集中によって、時系列的に変動。
治水投資による安全洪水流量のレベル確保によって軽減し、社会経済の拡大によって増加。したがって、この概念を地域の社会経済の規模に対応した治水規模の算定が可能。

2011/3/28

7

石狩川における河川整備と地域の関わりあい

- 石狩川→延長約268km(全国第3位)、流域面積約14,330km²(全国第2位)、流域内48市町村(人口北海道全体の約50%)
- 水のパテンシヤル→開発の大規模性を保証
- 札幌市の融雪洪水→豊平川の治水対策により回避
- 原因別水害発生数と治水洪水対策

表1 これまでの石狩川にみられる原因の違いによる水害発生数

流域	石狩川上流			石狩川下流		
原因	融雪洪水	融雪洪水以外	融雪洪水	融雪洪水以外	融雪洪水以外	融雪洪水以外
年						
～1951	11	25	0	6		
1951～	3	36	0	7		

2011/3/28

6

費用便益型治水投資による期待被害ポテンシャルの変動

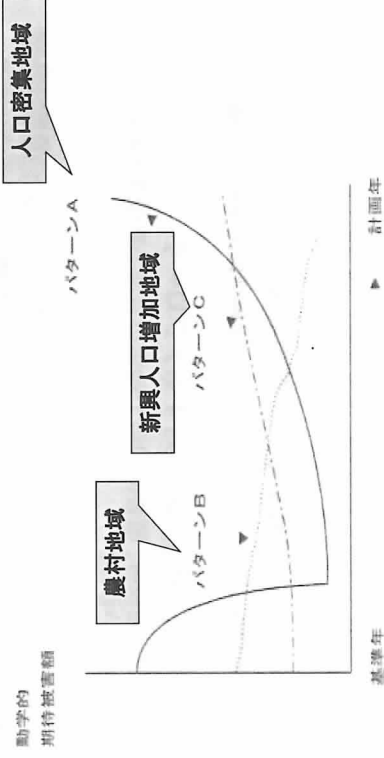


図1 費用便益型治水投資によるサブ地域の期待被害額の変動

2011/3/28

8

2. 水害ポテンシャルと都市(土地利用)サービスの均衡

$$J = \int_0^T e^{-rt} \{ Cf(t) + Cfp(t) + Cp(t) - U(t) \}^2 dt \rightarrow \text{最小化}$$

$Cf(t)$: 期待被害額, $Cfp(t)$: 排水ポンプ施設による対策費用, $Cp(t)$: 土地の耐水化費用, $U(t)$: 土地利用高度化によるサービス便益(住宅ストック便益)。

r : 現在価値を算定するための割引率。

期待被害額は洪水による各資産の被害額の合計と生起確率の積で計算。耐水化によって安全性が確保された場合、その分被害額の軽減が見込まれる。洪水流量はポンプの排水量によって軽減

氾濫原の想定被害額: $q(t) = \sum_j R_{sj} f_{ij}(t) - u_{ip}(t)$

$$Cf(t) = \sum_j \sum_i \{ P_i(t) G_{ij}(q_j(t)) R_{ij}(q_j(t)) B_{ij}(t) (1 - e_j(t)) \}$$

$$\text{耐水化費用: } Cf_p(t) = \sum_j \sum_i u_{ij} e_j P_{ij}(t)$$

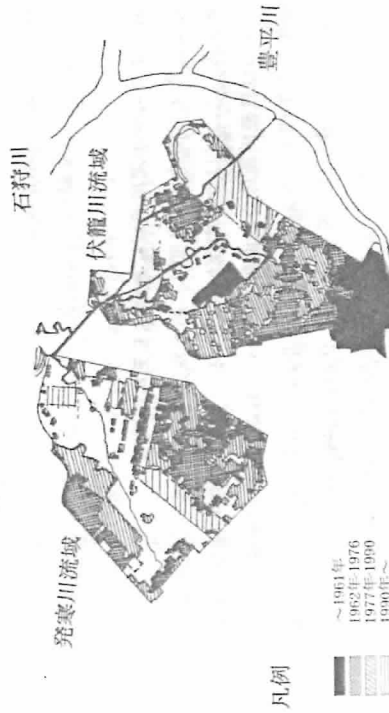
$$\text{ポンプ費用: } C_p(t) = \sum_j u_{jp} P_j(t) \rightarrow \text{Min.}$$

$$\text{土地利用サービス } U(t) = \sum_j \sum_i u_{ij}(t) P_{ij}(t) \rightarrow \text{Max.}$$

$P_i(t)$: 被害対象1の単位面積当り資産額, $G_{ij}(q_j(t))$: 流域の氾濫流量 $q_j(t)$ の氾濫面積, $R_{ij}(q_j(t))$: 地域の氾濫流量 $q_j(t)$ の生起確率, $B_{ij}(t)$: 全流域に対する土地利用高度化面積(宅地面積)の割合, $e_j(t)$: 流域の耐水化率, u_{ij} : 流域ポンプ施設整備面積, $P_{ij}(t)$: 単位整備面積当りポンプ施設費用, u_{jp} : 流域対象土地利用高度化の増加面積, h_j : 流域かさ上げ高さ, $P_{ij}(t)$: 流域単位面積あたり耐水化費用

9

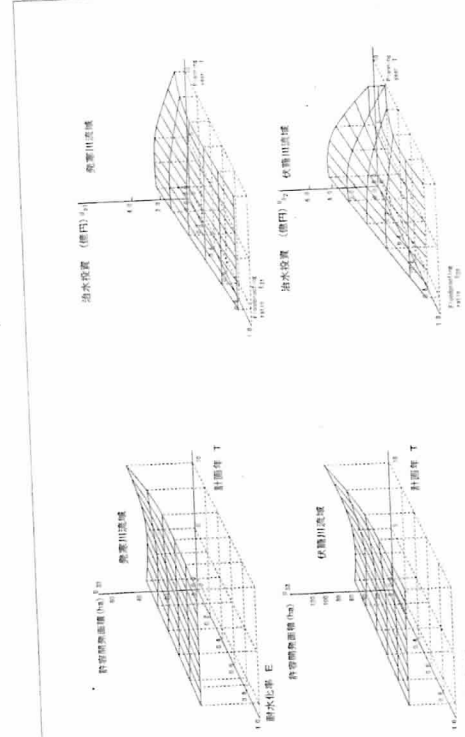
検討対象流域における土地利用高度化の変遷



伏龍川流域の方が発寒川流域より被害ポテンシャルは高い

10

最適制御モデルにより決定された許容開発面積と治水投資



条件が厳しい伏龍川流域の方が、計画初期において土地利用の制約が厳しく、治水投資を多く必要としている

11

3. 中小河川流域での土砂災害危険度評価と宅地開発

土砂災害危険度を考慮した宅地開発モデル

目的関数→宅地サービス量最大化と公共投資を含む総費用最小化の2つの目的を考慮。

$$\text{Max. } G1 = \sum_j \sum_i R_{ijps} \cdot X_{ijps}$$

$$\text{Min. } G2 = \sum_j (-RD_{js} - C_{js} + OB_{js}) (\sum_i X_{ijps})$$

宅地サービス最大化と総費用最小化

X_{ijps} : 単位面積あたりの宅地サービス可能量、

R_{ijps} : 求める宅地開発可能量、

RD_{js} : 公共投資レベルsの時の期待被害額、

C_{js} : 単位面積あたりの公共投資レベルsの技術的対策費用、

OB_{js} : 単位面積あたりの防災施設利用による便益。

$$R_{ijps} = LP_{ij} - CF_{ijp} - CP_{ijp} - SD_{ijps}$$

LP_{ij} : 災害の影響がない時期待たれる買値、都心からの時間距離 d_{ij} の関数として算定、

CF_{ijp} : レベルpの土地整地に要する費用、ここでは平均起伏量 u_{ij} の関数として算定

CP_{ijp} : レベルpの耐水化方法に要する費用、ここでは平均勾配 s_{ij} の関数として算定

SD_{ijps} : 期待被害額の現在価値であり、単位面積当りの平均資産額と期待被害関数

$F(gfi)$ による

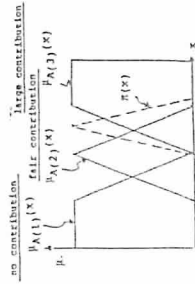
g は降雨強度、 f は流出率。

レベルとpレベルは共に1。

制約条件: 将来予測人口に見合う人口増加量の制約、各地区における開発限界量の上限。

i : 対象地区番号、 j : その中のメッシュ番号、 t : 目標年、 s : 技術的対策レベル

12



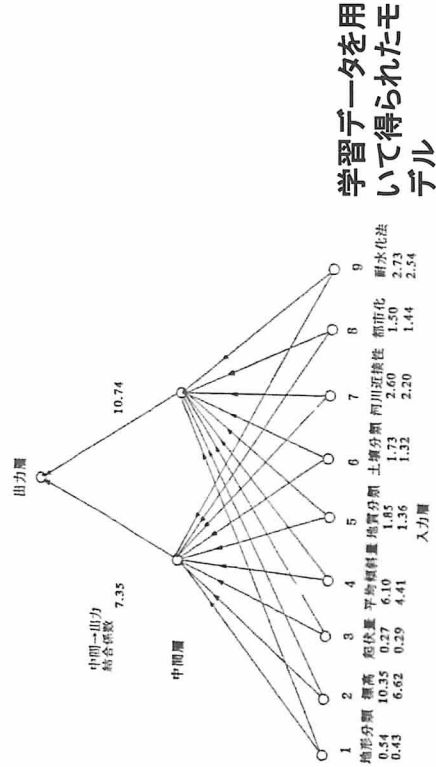
ファジィカテゴリと要因可能性評価値

水害危険度評価のための自然・社会要因情報

属性	A(1)	A(2)	A(3)
標高	10.0-51	10.25-0.751	10.5-1.01
1)地形分類	その他	ローム層台地	三角州低地
2)標高(m)	-5.0	5.0-2.5	3.5-0
3)起伏量(m)	10.0-2.5	5.0-1.0	2.0-0
4)平均傾斜量	0-5	2.5-7.0	5.0-10
5)地質分類	その他	シルト系	泥炭・粘土
6)土壌分類	褐色森林	褐色低地	灰色低地泥炭
7)河川近接性	接近	50.0-150m	100m以上
8)都市化	25人/ha以下	15-200人/ha	100人/ha以上
9)治水化	F&H*	P or H**	None***

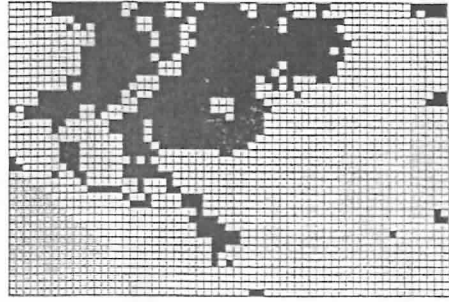
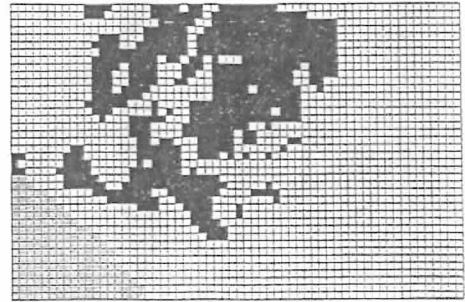
* ポンプ施設と高層土宅地
** それらのどちらか
*** どちらでもない

ニューラルネットワークモデルによる氾濫再現



入力層の数値については上段が中間ユニット1への結合係数
下段が中間ユニット2への結合係数

氾濫再現シミュレーション結果



1981年8月洪水の被害地域(実測)

1981年8月洪水の被害地域(推定)

リダンダンシーを考慮した交通ネットワーク

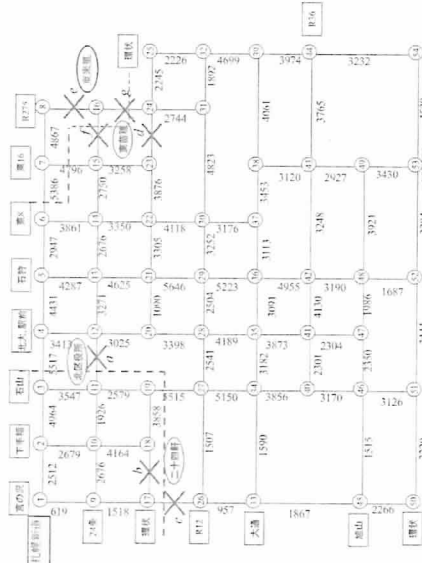


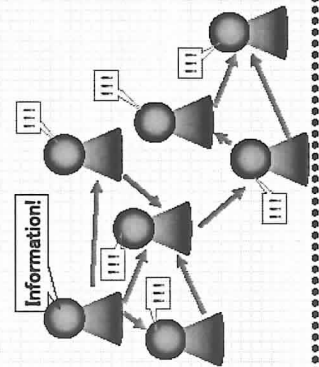
図8. 内水氾濫時の配分交通量（3日間雨量：30mm、単位：台/時）

21

例えば…情報伝達のシミュレーション

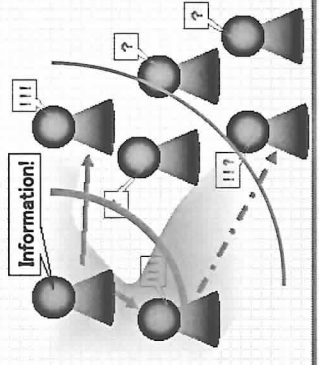
■ 一般的なシミュレーションのイメージ

- 情報は全体に一瞬でかつ均等に伝わる
⇒ 全体系が一瞬で均街



■ 複雑系（マルチエージェント）シミュレーションのイメージ

- 情報は局所的かつ不均一に伝わる
⇒ ネットワーク的現象（情報の伝播）を表現



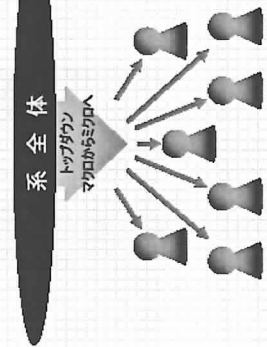
23

5. 震災時の地域減災力と避難行動

■ OR/マルチエージェント・モデルの概念比較

■ OR的なモデル

- ⇒ トップダウンアプローチ
⇒ マクロな変数間の関係性に着目
- 神の視点(?)



■ マルチエージェントモデル

- ⇒ ボトムアップアプローチ
⇒ ミクロなモデルとその相互作用に着目
- 行動主体（エージェント）の視点

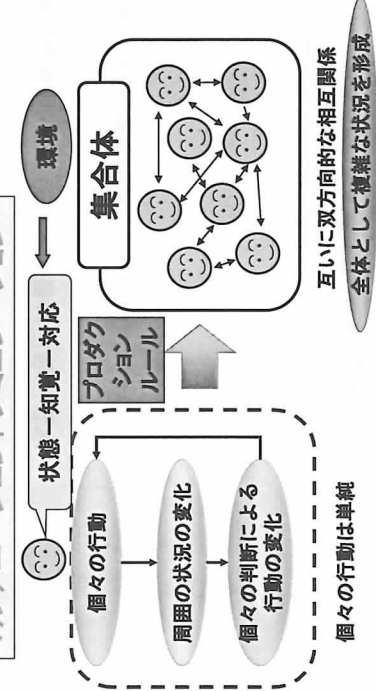


22

地域住民特性と避難シミュレーション

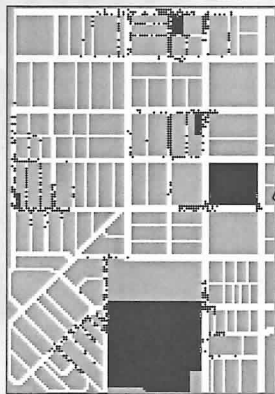
- 今取り組んでいること：地域の人間がどのように災害を考え、行動するか。それは、1人の行動が、地域社会全体においてどのように影響を与え、また影響を受けるかについて予測できる方法を考えること
- それぞれの頭脳と特性を組み入れた人間を人工的に再現し、その働きを調べていく方法

マルチエージェントシミュレーション



24

マルチエージェントシミュレーションによる避難行動分析(非平常時)



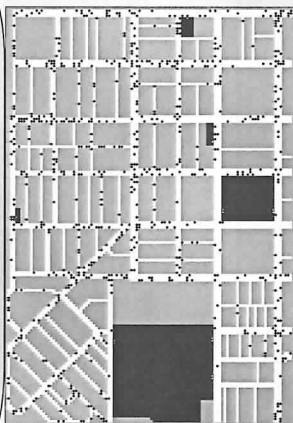
例えば

全員避難場所を知っている場合の25分後の避難状況。

全員避難場所を知らない場合の25分後の避難状況。違いが明確であり、事前情報のあるなしでの違いを再現できる。

マルチエージェントシミュレーションは、それぞれのエージェント(人間)に頭脳を持たせ、行動をさせるシミュレーション。ここでは1000人がそれぞれ違った考え方を持っていて行動している。

マルチエージェントシミュレーションは今後、人間行動からの交通現象を再現できる方法として利用の可能性が大きい。



25

住民の意識調査とクラスター分析による類型化

配布・回収方法	訪問配布、郵送回収
調査場所	釧路市
配布部数	600部
回収部数	220部(回収率36.7%)
主な質問項目	・平成15年(2003年)十勝沖地震時の思考や行動について・地震時の避難行動について・個人属性 など

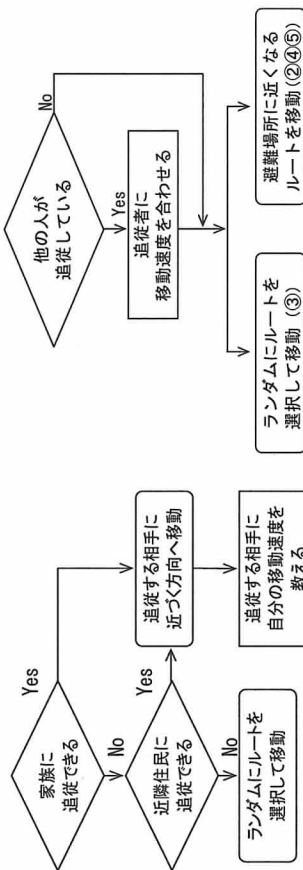
	年代	避難場所	他の人に対する行動		割合(%)
			家族	近隣住民	
①	10~20代	知らない	追従	追従	10.2
②	20~40代	知っている	つれていく	考えない	12.4
③	20~40代	知らない	つれていく	考えない	9.1
④	40~60代	知っている	つれていく	つれていく	21.5
⑤	40~60代	知っている	つれていく	考えない	18.8
⑥	50~70代	知っている	追従	追従	12.4
⑦	50~70代	知っている	つれていく	追従	15.6

26

エージェントに組み込まれるプログラクシヨナル

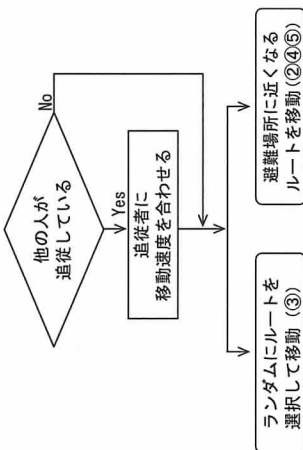
①10~20代

- ・家族や近隣住民に追従
- ・避難場所を知らない



②~⑤若い年代のエージェント

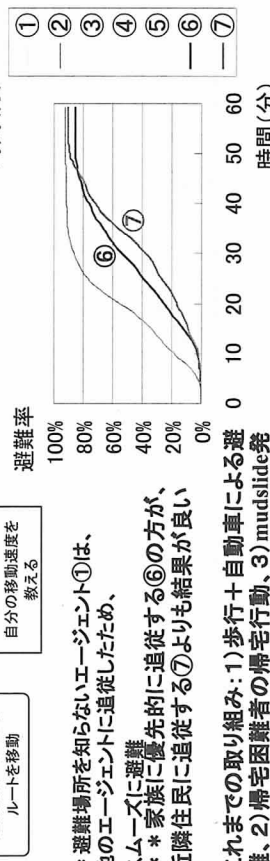
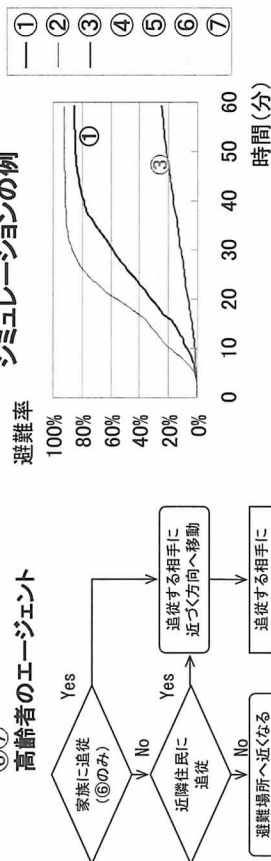
- ・ランダムにルートを選択して移動
- ・避難場所を知っている



27

マルチエージェントシミュレーションによる避難行動の例

シミュレーションの例



- * 避難場所を知らないエージェント①は、他のエージェントに追従したため、スムーズに避難
- * * 家族に優先的に追従する⑥の方が、近隣住民に追従する⑦よりも結果が良い

これまでの取り組み: 1) 歩行+自動車による避難、2) 帰宅困難者の帰宅行動、3) mudslide発生時の避難行動

28

豊平川の堤防が破堤したら

- 豊平川危機管理システム
- 豊平川洪水危機管理検討委員会で
の検討
総降雨量310mm、時間雨量50mm
幌平橋付近での破堤という条件
最悪な条件：破堤地点周辺、苗穂、
北大農場、
三川合流地点、石狩市等1m以上の浸
水深
- 地下鉄・地下街への影響の分析
- 住民・自治会・市区・北海道・国・マス
メディア・
公共機関等の対応とパートナーシップ

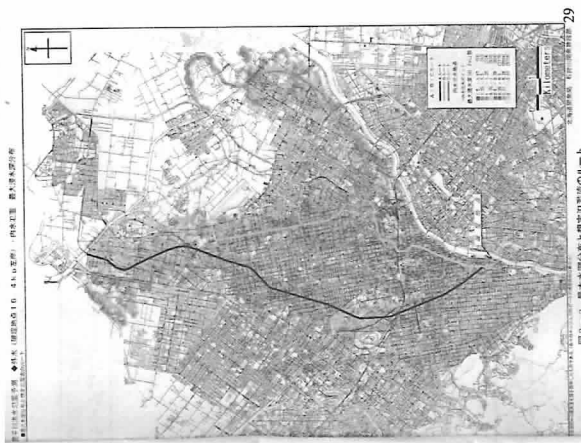
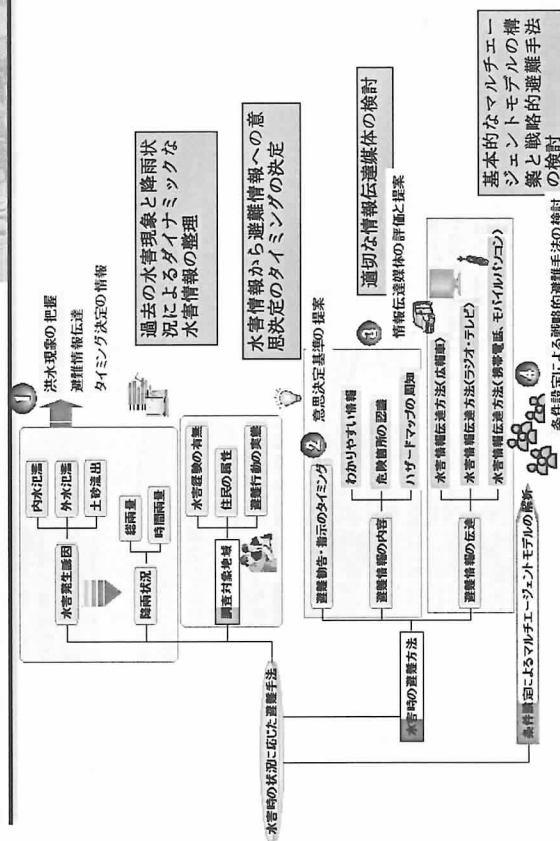
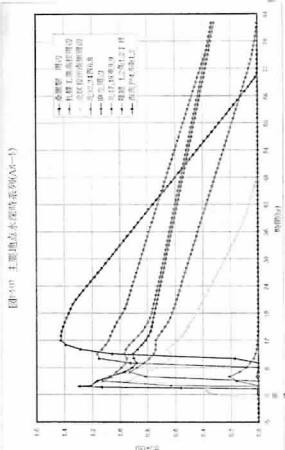


図 2-3 最大水量分布と想定氾濫流のルート

①水害時の状況に応じた避難手法



想定される現象



第四章 主要地点水深时系列(Ag-1)

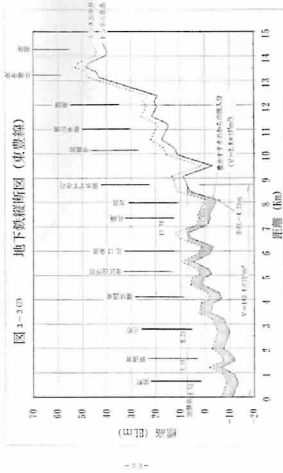
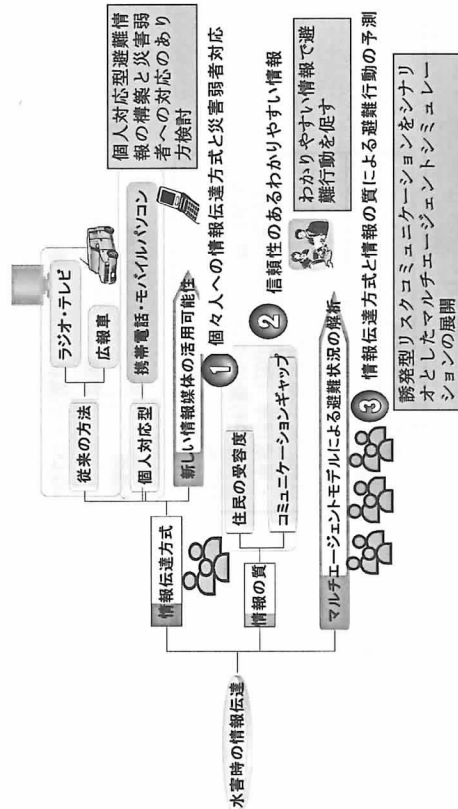
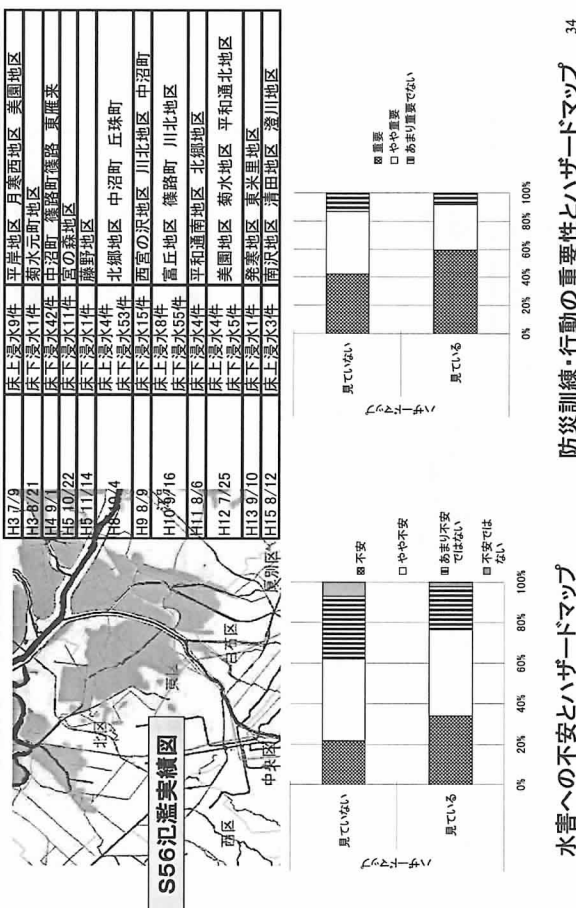


圖 3-3 (D) 地下鉄線断面 (車豊線)

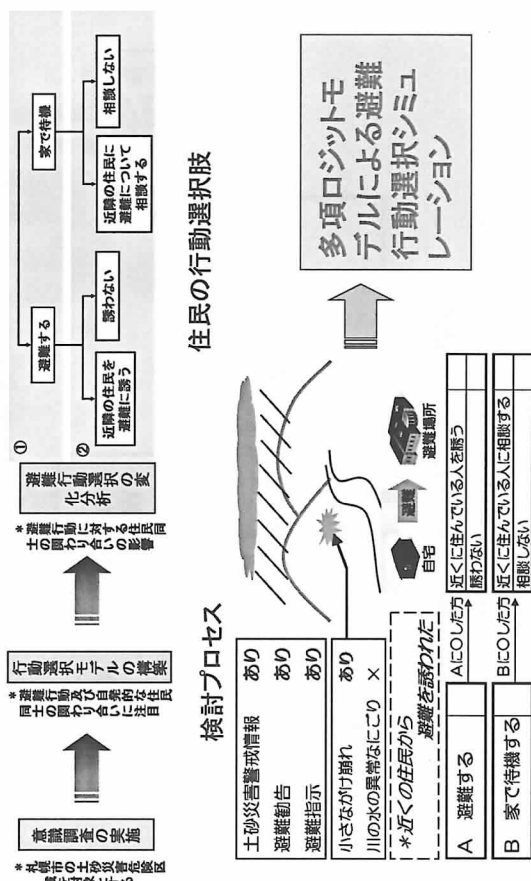
②水害時の情報伝達方法



6. (1)札幌市におけるハザードマップに関わる調査研究例

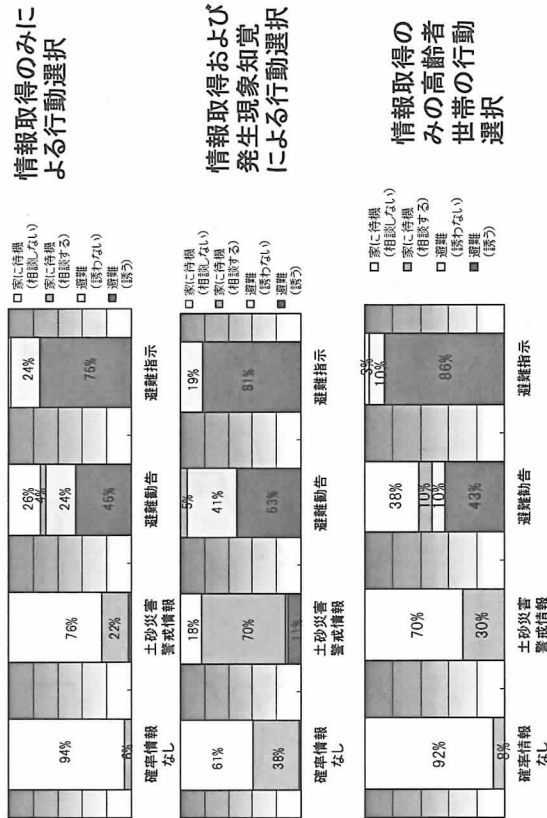


(2)土砂災害危険区域の避難行動に関する調査



ハザードマップ非閲覧者の構造モデル

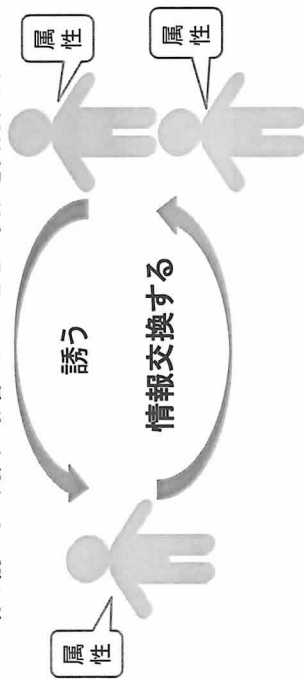
避難行動の分析結果の例(札幌市南区における例)



避難シミュレーションの流れ(2)

②意思選択を行ってから避難行動を想起するまで

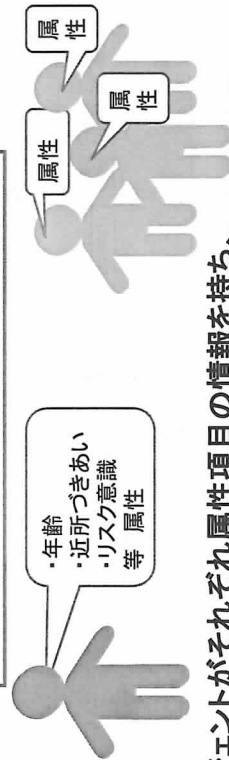
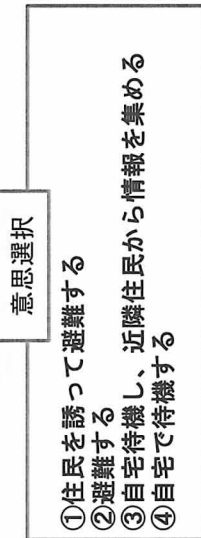
情報を取得して自分の意思を決定してから、住民同士の情報共有や誘いなど周囲の影響によって意思の変化を表現する。



選択した意思と自分の属性に基に、周囲から影響を受け、避難行動を想起する

避難シミュレーションの流れ(1)

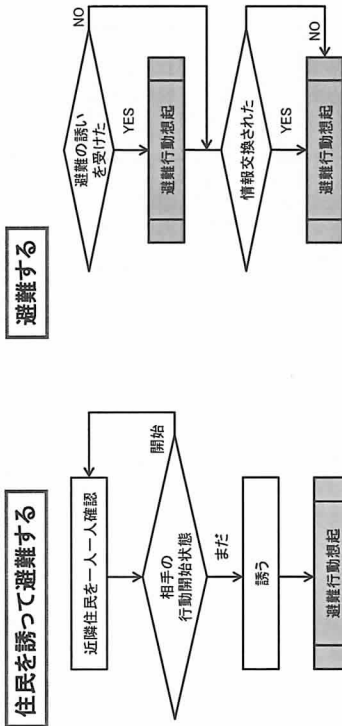
①発令直後：情報を取得し、意思を選択



エージェントがそれぞれ属性項目の情報を持ち、ランダム効用理論に基づく効用値により、直後の行動を意思選択する

意思選択してから避難行動想起までのフロー

周囲の住民との相互作用を考慮して意思の変化を表現する。避難行動を想起した住民は次の避難決定モデルフローに進む。



避難シミュレーションの流れ(3)

③避難行動を意思想起してから決定する

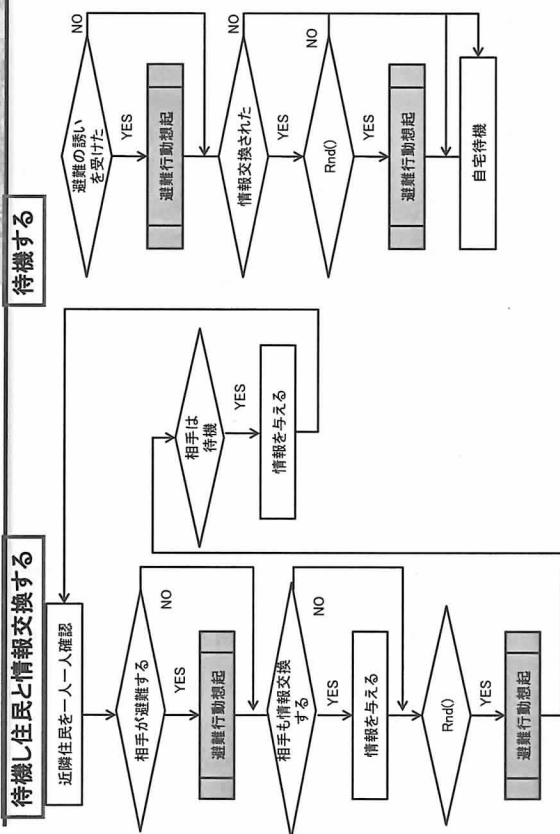
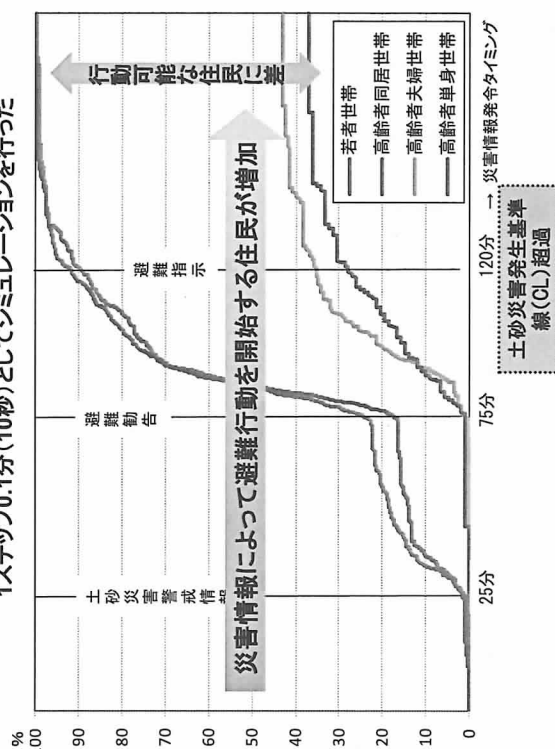
避難意思を持ったとしても、実際に避難行動を開始することが出来るのかはエージェントによって異なる



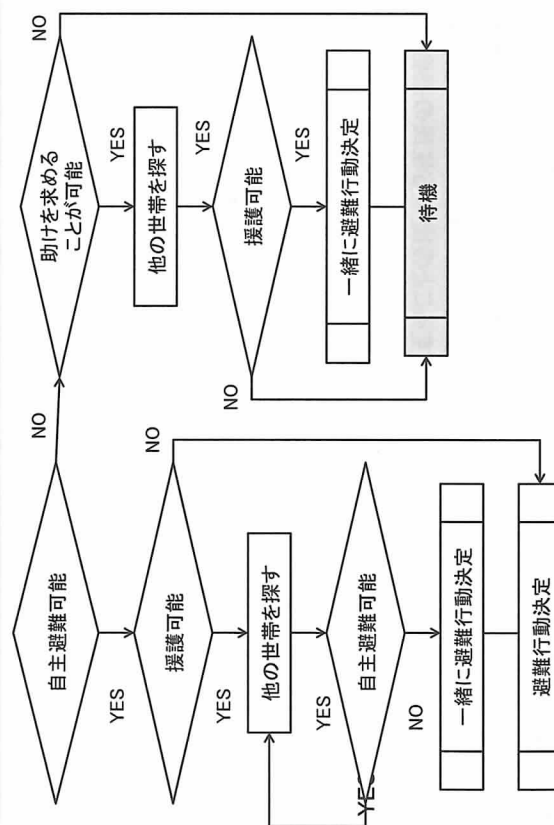
自分の属性と周囲の状況によって、実際に避難行動を開始するのか決定する

シミュレーションの結果(再現)

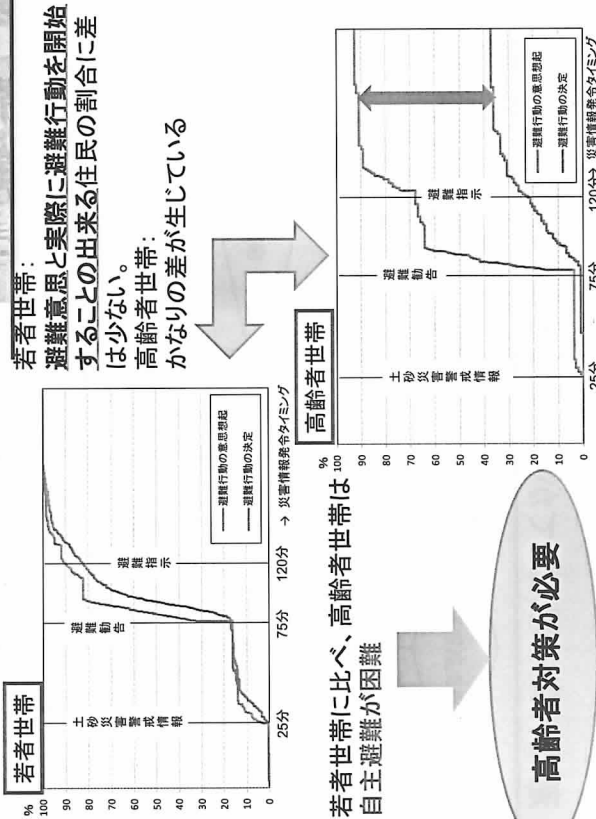
乱数の要素を含むため、50回実行しそれらの平均値を利用
1ステップ0.1分(10秒)としてシミュレーションを行った



避難行動を想起してから決定するまでのフロー



意思と実際の行動との関係(世帯別)



45

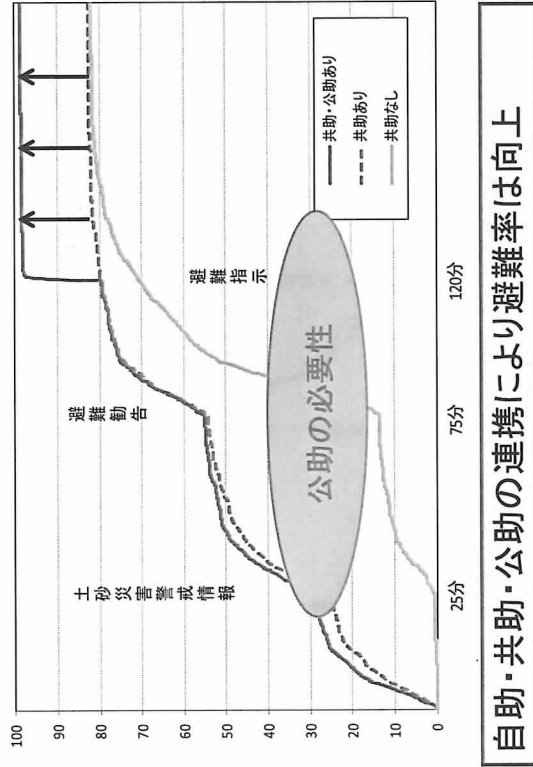
本研究の成果

- 住民の自助・共助に着目した土砂災害避難行動モデルを構築し、避難行動の変化を予測した
- 住民間での情報共有により避難への意識が高まる
- 住民同士の援護活動が避難開始可能率向上に繋がる
- 高齢者自らの援護要請は、積極的な援護活動の実施に繋がり避難行動開始率が向上する

共助・自助が避難困難者の削減に有効であることを示すことができた

47

公助の重要性



46

アンケート調査集計結果

クロス集計結果

- ・(午後6時の)所在地(勤務先・買い物・移動中)
- ・帰宅距離

↓ 影響

帰宅判断(すぐ帰宅 or 時間が経ってから帰宅 or 帰宅しない)



帰宅距離・所在地で9つに分類し、

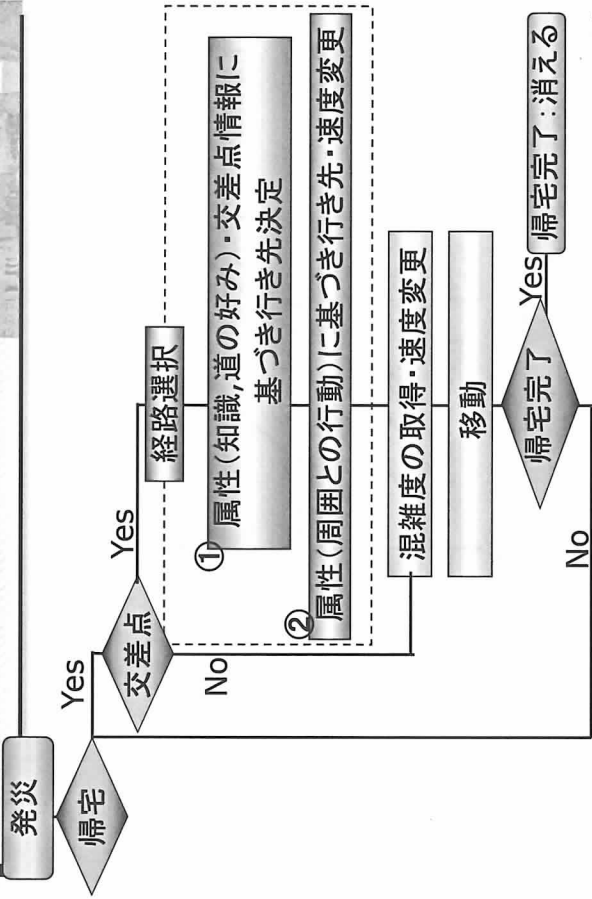
帰宅判断・道の好み・知識経験・周囲との行動の割合を

エージェントの特性値として与える

帰宅者数、年齢は帰宅地ごとに人数、割合を与える(PT調査結果)

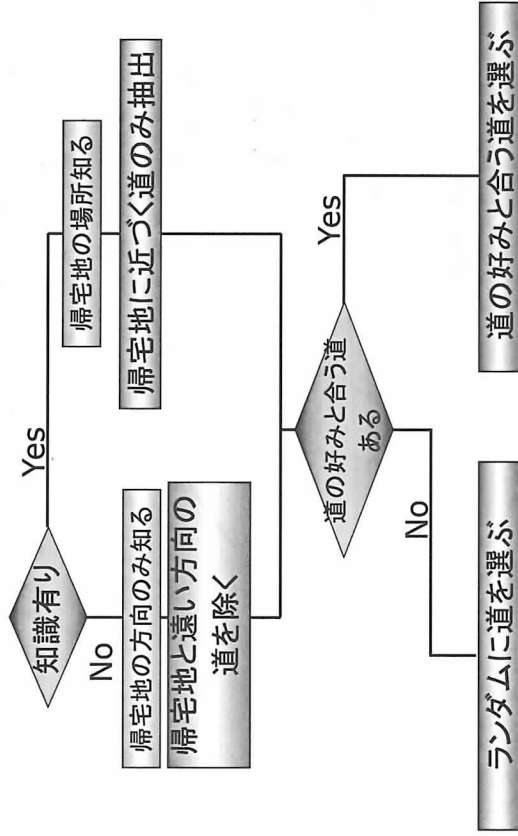
48

帰宅行動シミュレーション - エージェントの行動ルール



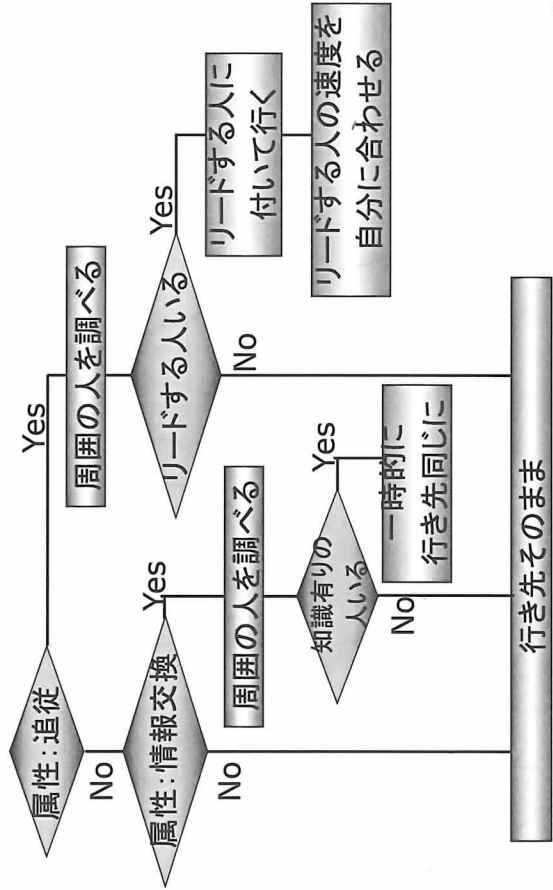
49

①知識, 道の好み・交差点情報に基づき行き先決定



50

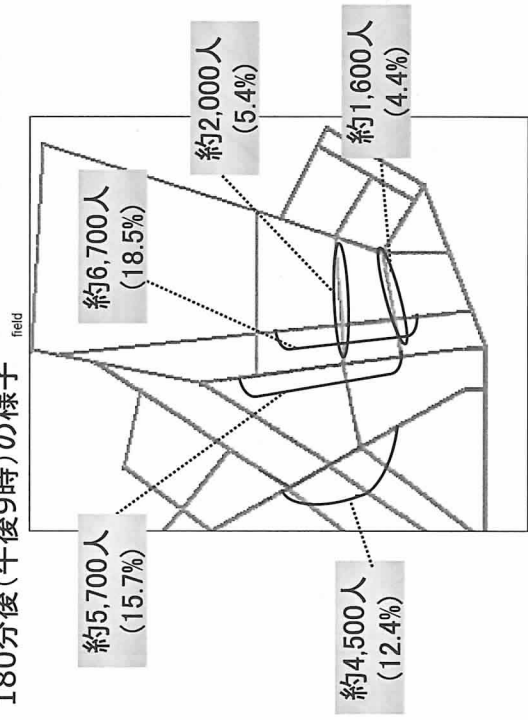
②周囲との行動に基づき行き先・速度変更



51

シミュレーション結果 現状の再現

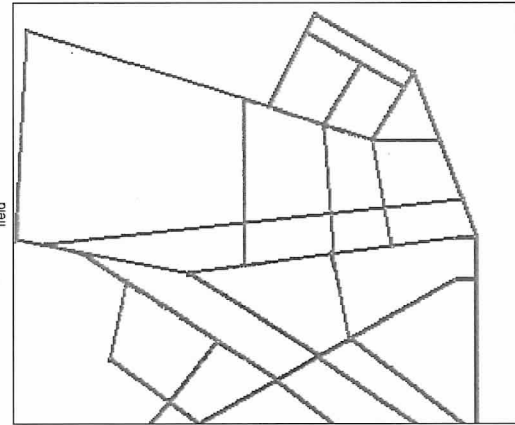
180分後(午後9時)の様子



75

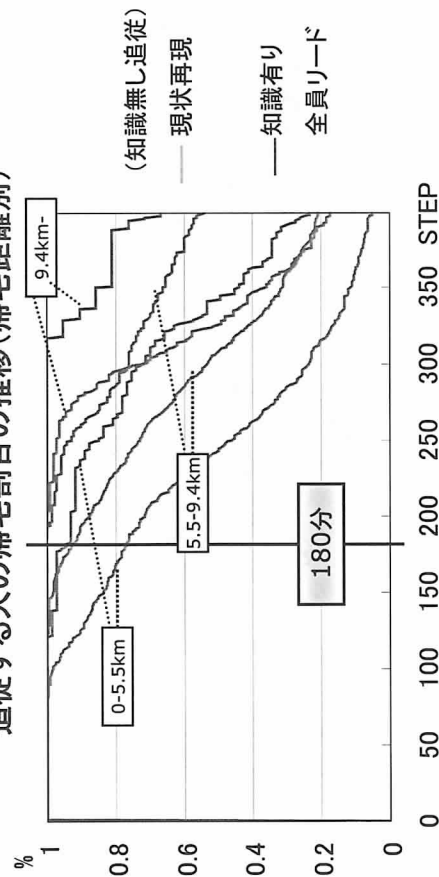
52

360分後(午後12時)



53

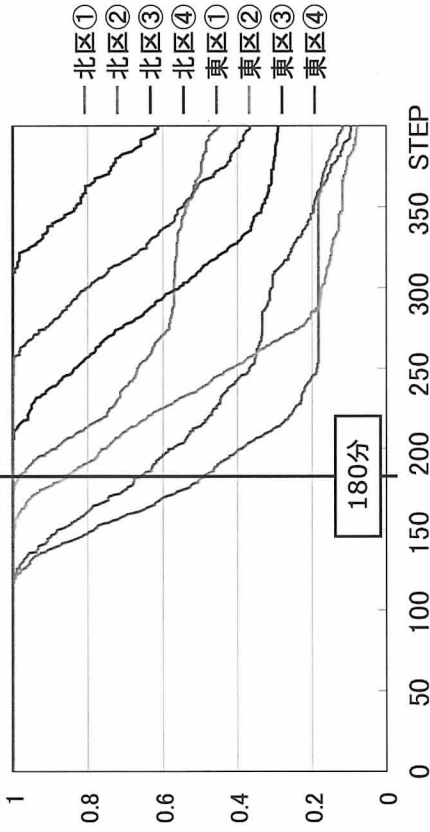
追従する人の帰宅割合の推移(帰宅距離別)



「知識経験あり」の人が全員リードすることにより、「追従」する人の帰宅完了割合が上がる

55

帰宅エリア別 帰宅途中割合

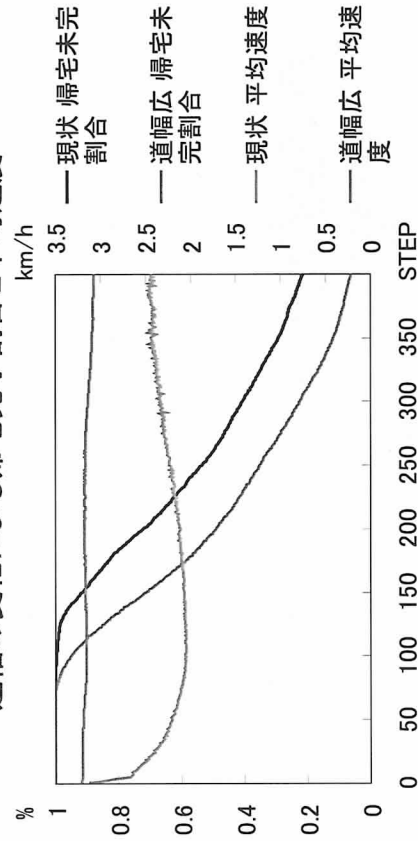


30,500人がまだ帰宅途中帰宅者全体の約85%

60歳以上の帰宅途中者5,500人

54

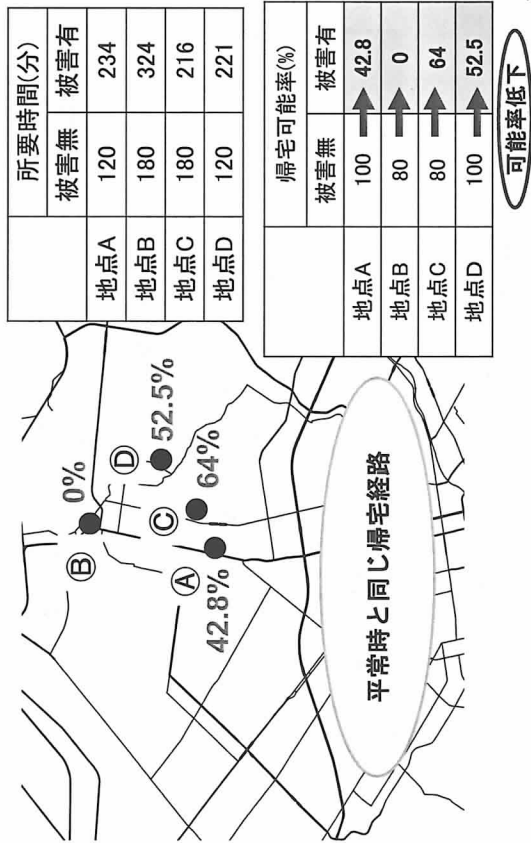
道幅の変化による帰宅完了割合と平均速度



道幅が広がることにより、混雑が緩和され歩行速度が上がり、帰宅完了時間が早まる

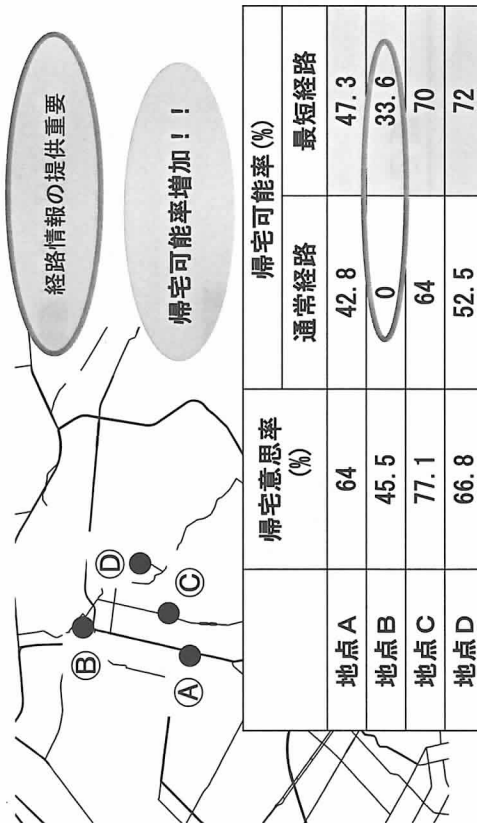
56

帰宅所要時間と帰宅可能率の変化



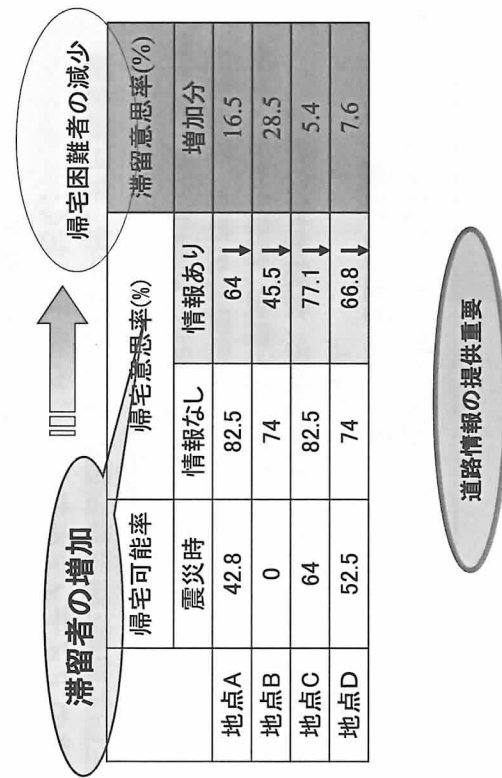
57

②最短帰宅経路情報の提供



59

①道路の被害情報の提供



58

成果と結論

アンケート調査結果から、人々の災害時帰宅行動を把握

- ・冬の連続歩行可能時間を3時間に設定
- ・帰宅すると判断する理由は8割が「自宅・家族の状況把握」

シミュレーションにより現状の再現

- ・積雪・混雑の影響で、基本歩行速度2.0～2.5km/h
- ・帰宅開始から3時間後に帰宅が完了できた人は約15%
- 特に高齢者の帰宅完了割合は少ない

条件を変えたシミュレーションの実施

- ・リードする人が増える、道幅を広げる事により、180分後の帰宅完了割合が上がる
- ・情報提供が帰宅困難者となり得る被災者の軽減に有効
- ・道路帰宅経路情報により、帰宅可能率が増加

60

まとめと課題

冬期の震災時を考慮した支援策が必要

- ・災害時帰宅経路の整備
 - ・帰宅経路の確保
 - ・寒さを考慮した、屋内休憩所の設置
 - ・帰宅経路に関する情報提供
- ・外出時に被災することを想定した人々への呼びかけ
 - ・帰宅距離の遠い者、高齢者の徒歩帰宅の抑制
 - ・外出先での待機場所、連絡手段の確保、災害情報提供
 - ・徒歩帰宅する際の集団帰宅の推進

61

8. 震災時の地域減災力と避難行動

人間行動に関わる重要な課題

特に、対応段階から復旧段階

ステージ0:

即時対応(発災後3日以内、救命中心) 地震後すぐに近の高い所へ

ステージ1:

緊急対応(2日目から1週間、救援と支援・必需品の調達中心)

ステージ2:

応急対応(1ヶ月以内、応急被害復旧、仮設住宅の建設中心)

ステージ3:

復旧対応(6ヶ月以内、心のケア対策や復興計画の策定中心)

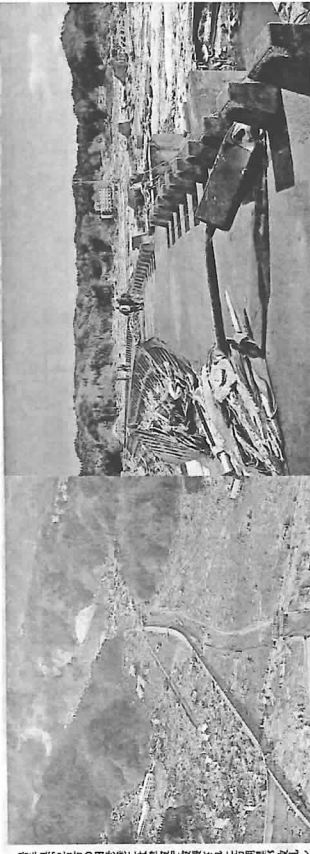
ステージ4:

復興対応(6ヶ月以降、都市環境回復・住民の心のケア中心)

段階に応じたプログラムが必要

63

岩手・宮古田老地区防潮堤被害(朝日2011.3.20朝刊)



62

地域防災力

- 町内会(コミュニティ)規模の地域が持っている防災ポテンシャル
- 災害を知る: 地域で起こる災害に関する正しい知識
 - 前兆現象、避難システム
- 地域を知る: 起こりやすい災害を知る、危険地域の把握
 - ハザードマップの作成と熟知、脆弱な地域・施設
 - ・構造物のチェック、災害弱者の存在、避難場所
- 知識を活かす: 恒常的な自主防災組織、初期消火法、救命救急法、各種職業人の活用
- 自主防災組織: 防災診断図の作成、防災学校、井戸端会議
- 避難のアイデアをあらかじめ考えておく:
 - 避難場所・避難時間・共助、公助の体制
- 以上の諸活動の総量をもって表すもの

64

日常的な水害時におけるリスクコミュニケーションの評価

いくつかの市町村で住民個々の防災意識、行動と共に行政、住民、コミュニティ間でのリスクコミュニケーションの実態調査を行い、どこでのコミュニケーションがより大きく防災行動に繋がるかを考える。→

