

人びとは災害にどう反応するか？

オオカミ少年効果と 居住場所の選定

2006.10.4

東北大学
東北アジア研究センター
工学研究科土木工学専攻
教授 奥村 誠

自然災害の例 1

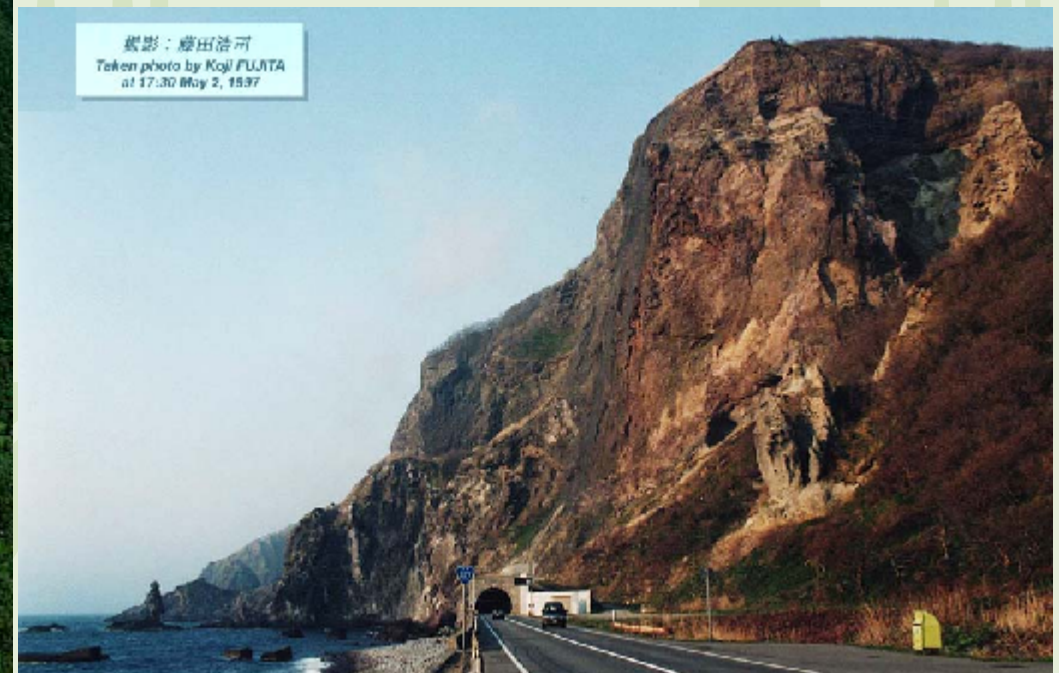


- ❖ 新潟中越地震(2004.10.23)による小千谷市の崩落 (東北大学地盤研究室HP)

自然災害の例 2

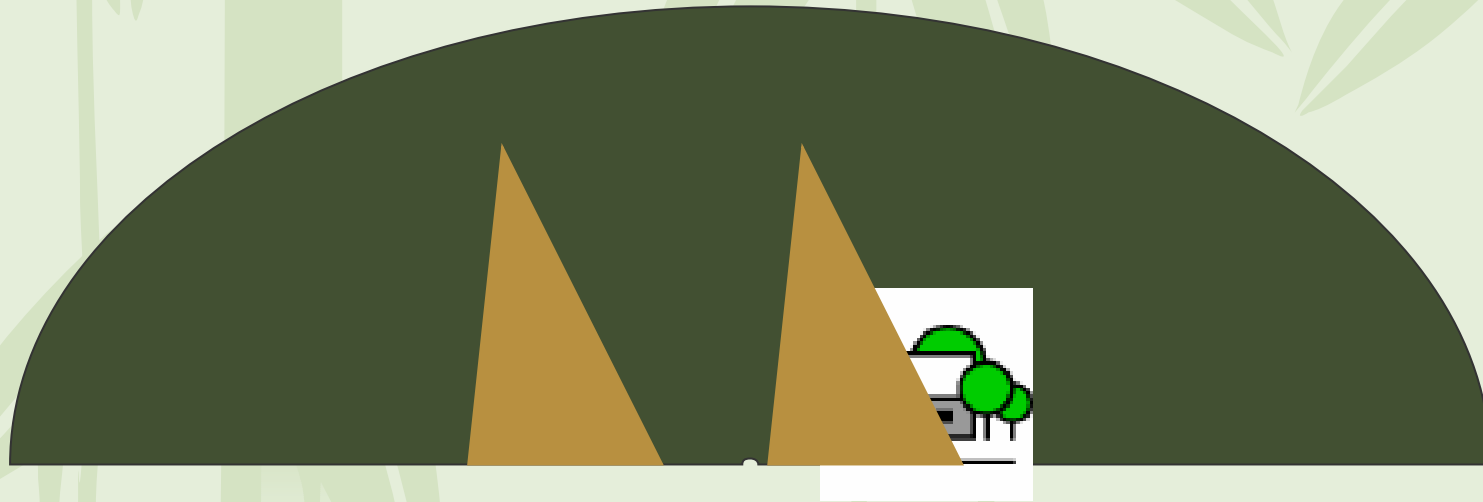
北海道島牧村国道229号第2白糸トンネル 岩盤崩壊 (1997.8.25)

崩壊前



(アジア航測HP)

自然と人間のかかわり

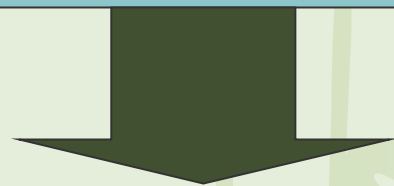


- ❖ 自然の作用が及ぶところに，人間の住む場所や使う施設があると，災害になる．
- ❖ 危ない所に「住まない，ものを作らない」ことができれば，自然災害は起こらない．

自然災害を避ける技術

- ❖ 火山や地震の多発地帯
- ❖ 傾斜の激しい森林と河川
- ❖ 津波や高潮の危険がある海岸地帯

これらを使わなければ、住む場所がなくなってしまう



災害の危険性をわかった上で、うまく災害と付き合う
最新の観測技術 素早い避難
災害の危険性の高い場所の利用を減らす

自然だけでなく、人間の反応を理解することが重要！

災害と人間行動の研究

終了

❖ 避難勧告と人々の避難行動

(避難勧告の空振りは、オオカミ少年を生むか?)

❖ 居住・土地利用における災害リスク認知

(危なそうな場所は使わないか?)

実施中

❖ 大規模地震負傷者の輸送医療体制の評価

(耐震化を急ぐのは病院か道路か?)

❖ 欠航遅延リスクに対応した交通施設

(異常時の人の行動に合った施設は?)

今後

❖ 東北アジアの土地利用形態

(自然災害リスクがどう反映されているか?)

その1 「避難勧告と人々の行動」

- ❖ 自然災害は事前に完全には予測できない
- ❖ ある被災確率を想定し,避難勧告を発令
 - ❖ 設定確率が高いと,「見逃す」危険が大きい
 - ❖ 設定確率が低いと安全だが,「空振り」が増える
 - ❖ 「空振り」が続くと逃げなくなる？(オオカミ少年効果)



本当にオオカミ少年効果はあるのか？

呉市の斜面とその下の住宅地



2001年芸予地震後の 呉市の2次土砂災害

- 1999年6月29日の豪雨
- 1999年9月24日の台風豪雨
- 2001年3月24日 芸予地震本震 かけ崩れ218箇所
 - 急傾斜地 / 重機の進入が困難 復旧の遅れ
- 2001年5月2日降雨 宅地 / 県道で3箇所土砂崩れ
- 2001年5月23日豪雨 県道で土砂崩れ
- 2001年6月13-14日梅雨前線豪雨 宅地崩壊
- 2001年6月19日梅雨前線豪雨 かけ崩れ21箇所

土砂災害は災害の進展スピードが速い。
事前の情報による避難が必要



呉市の避難勧告発令基準

- 1999年6月29日の豪雨・1999年9月24日の台風豪雨
- 発令基準の明確化** 降り始めから104ミリを超えた場合
- 2001年3月24日 芸予地震本震 かけ崩れ218箇所
発令基準が弾力化される。
- 3月30 - 31日降雨(勧告あり) 被害の報告なし
- 4月3日 **基準の引き下げ** 20ミリ以上の降雨が予想される場合
- 5月2日降雨、5月23日豪雨 県道で土砂崩れ・宅地に被害なし
- 5月31日 **基準の引き上げ** 50ミリ以上の降雨が予想される場合
- 6月13 - 14日梅雨前線豪雨 宅地崩壊
- 6月19日梅雨前線豪雨 かけ崩れ21箇所

避難勧告と住民の避難状況

表-1 呉市における傾斜地への避難勧告と住民の避難状況

	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	(追加)
発令時刻	3/30,20:30	5/2,6:30	5/23,9:00	5/23,23:00	6/19,14:00	6/20,1:25,2:05
解除時刻	3/31,14:25	5/2,18:30	不明	5/24,13:00	6/20,10:00	不明
対象地域	28地区	25	21		19(17+2)	
避難所数	14カ所	11	11		20	
対象世帯	217世帯	134	111		83(72+4+7)	
対象人口	507人	284	230		194(145+14+15)	
避難世帯数	32世帯(15%)	19(14%)	9(8%)	追加2世帯	22(26%)	
避難人口	75人(15%)	23(8%)	13(6%)	追加で4人	41(24%)	
総雨量	不明	53.5mm	49.5mm (23日)	83.5mm	43mm(19日)	
被害	不明	12:40畑の石垣 (11×4.5m)崩 壊, 17:15県道2 カ所で土砂崩れ	5/24,1:35県道呉環状 線で土砂崩れ		土砂崩れ21箇所うち7 箇所は民家	

中国新聞記事より作成



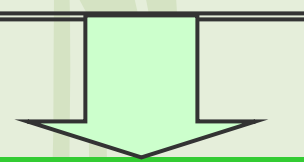
呉市の避難勧告と住民の避難状況

- 3月～5月
- 大きな被害 / 人的被害は発生せず [空振り]
- 避難勧告が出るたびに避難する住民は減少
- 5月31日 勧告発令基準の緩和
- 6月13日 発令ない状態で宅地崩壊 [見逃し]
- 6月19-20日 基準に達する前に発令
避難の割合は上昇, 多地域で崩壊.

「空振り」による住民の反応の鈍化 (オオカミ少年効果)
を考えると、厳しい基準での避難勧告の発令はしにくい。

確率情報への信頼性

避難勧告に対する主観確率として表現



避難勧告を受けたときに、
災害が発生すると思う確率



「土砂災害の恐れあり、
すぐに避難してください」

? %



広島市郊外団地でのアンケート調査

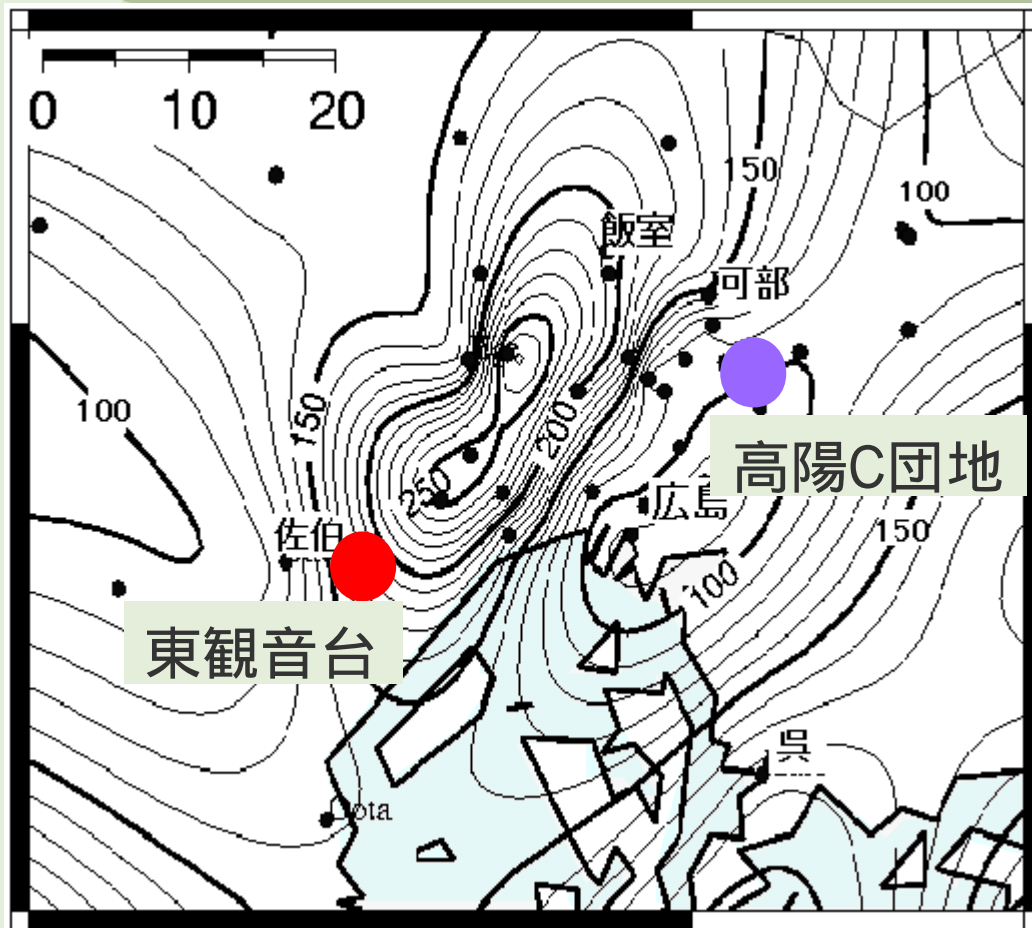


図 調査地点と

1999年6月29日の日雨量分布
(砂防学会HPより抜粋)

- 調査方法 訪問配布, 訪問回収
- 調査期間 1999年11月
1週間留置
- 配布 / 回収数
東観音台 171 / 196 (87%)
高陽C団地 175 / 196 (89%)
- 調査内容
世帯属性, 防災準備・被災経験
仮想的な災害状況に対する
避難行動

仮想的被災の前後の主観確率

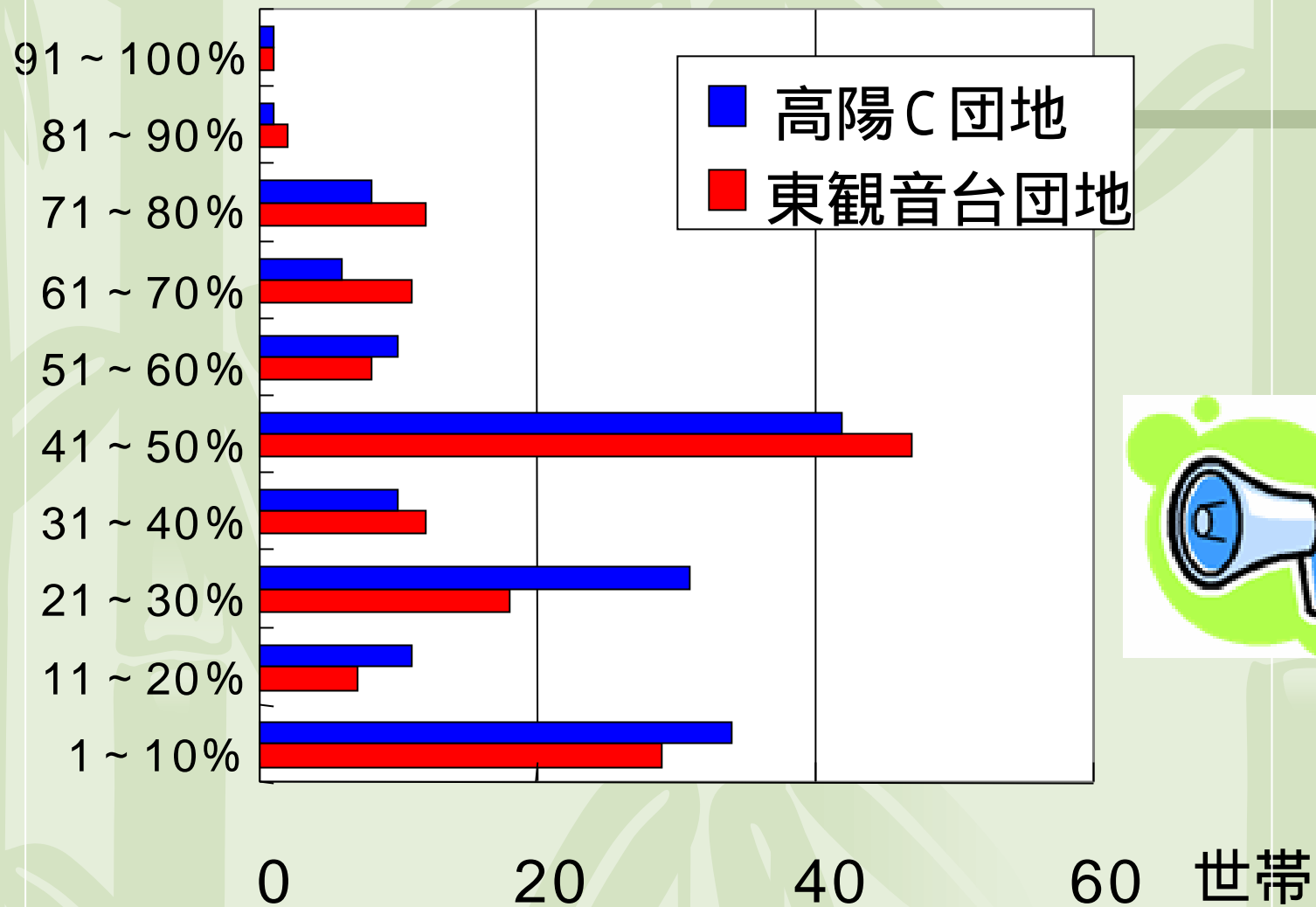
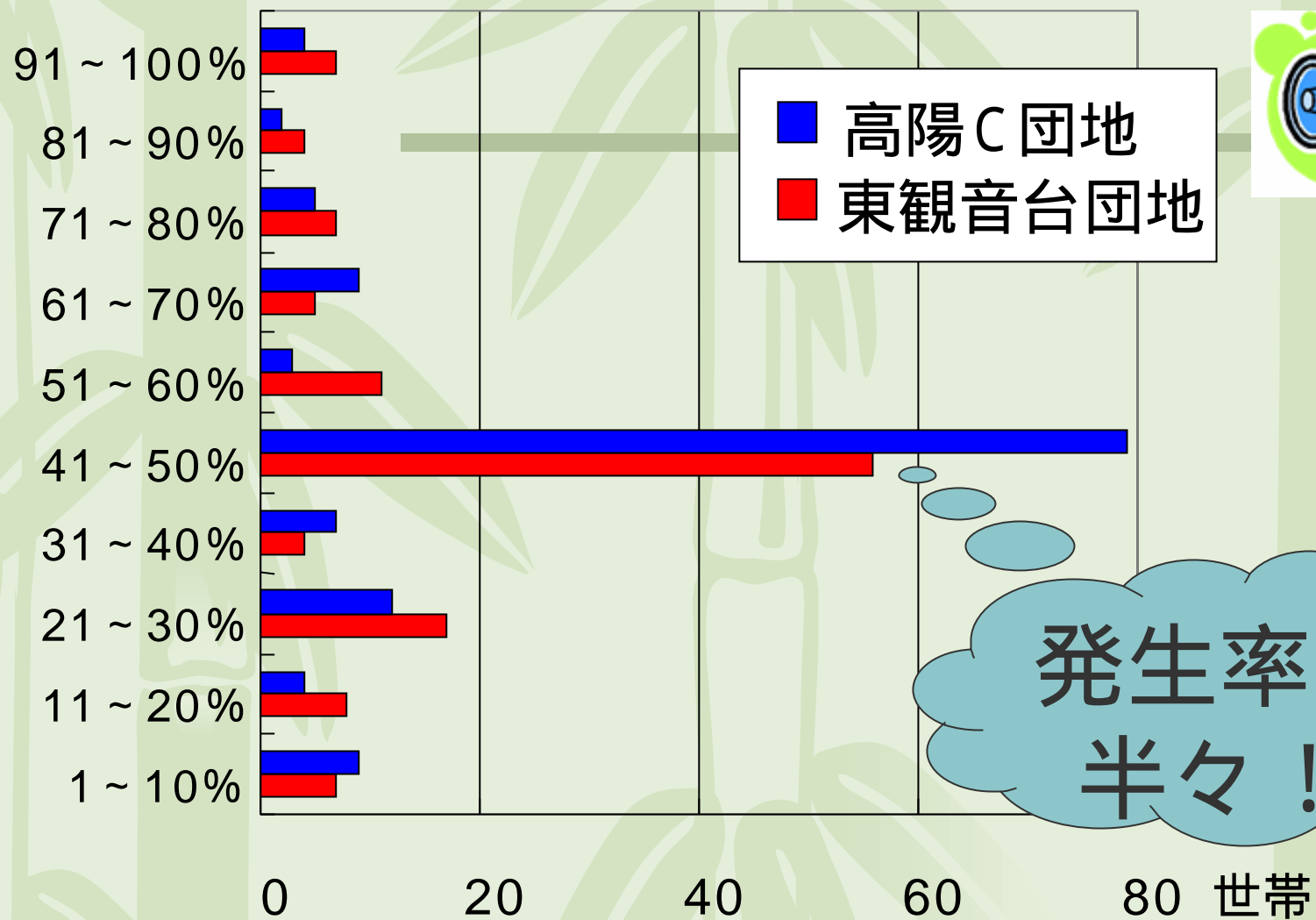


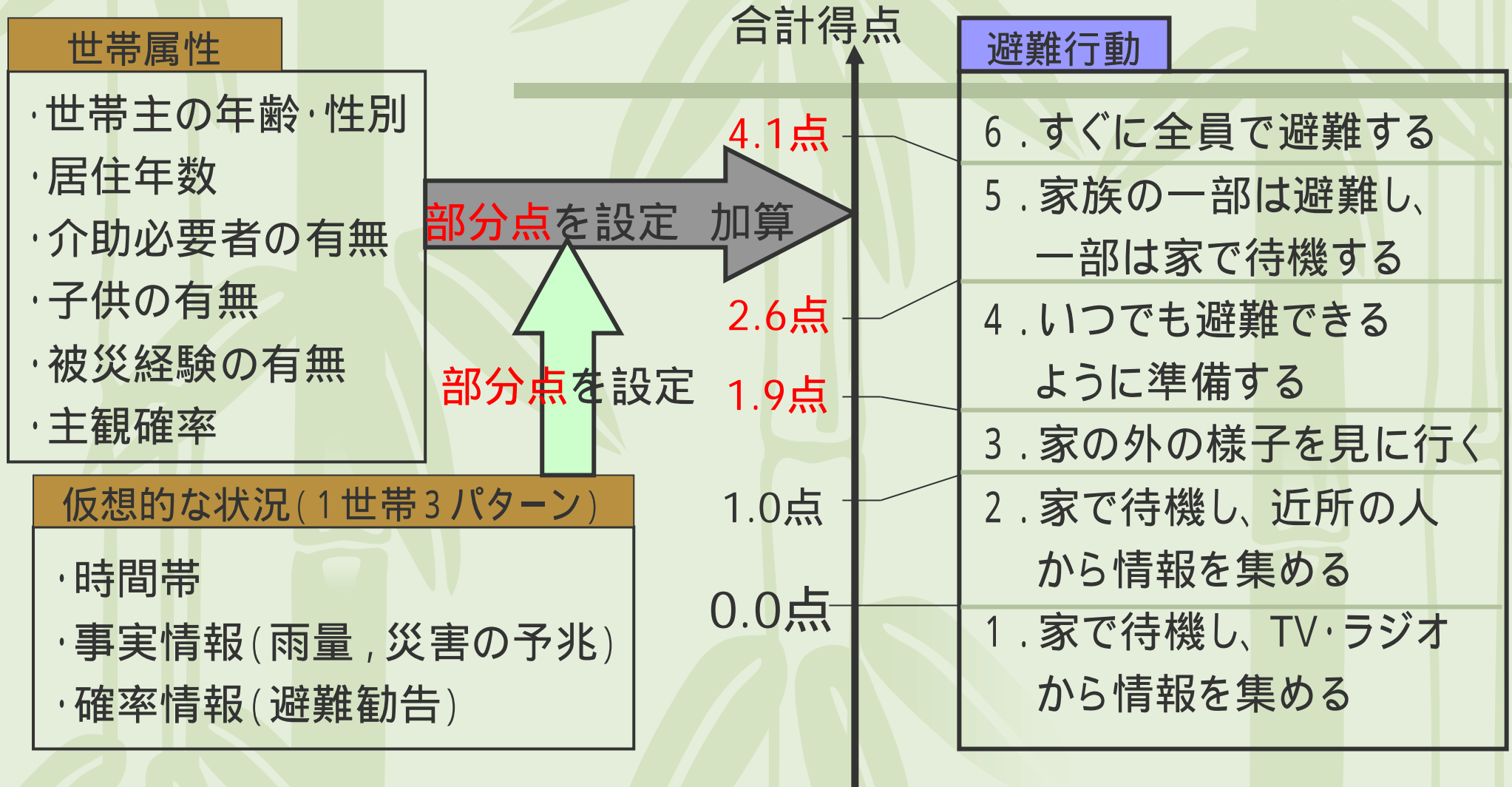
図 避難勧告を出すべきだと思ふ災害の発生確率



発生率は半々!

避難勧告を受けたときに災害が発生すると思う確率
(主観確率)

情報に対する避難行動選択モデル



世帯属性, 仮想的な状況を説明変数,

避難行動を目的変数とする Ordered Probit Model

避難行動選択モデルの推定結果

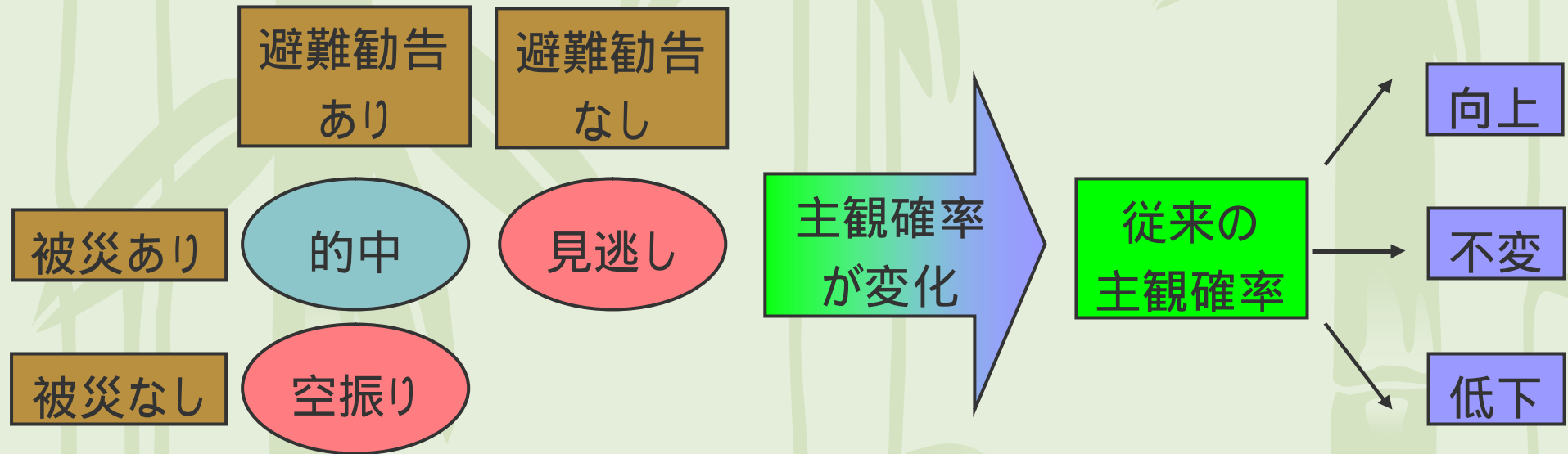
説明変数		推定値	t値
世帯属性	年齢	-0.011 **	-3.366
	性別 (0:女性, 1:男性)	-0.065	-0.552
	居住年数	-0.002	-0.340
	介助者 (0:いない, 1:いる)	-0.112	-0.754
	子供 (0:いない, 1:いる)	-0.035	-0.244
	被災経験 (0:ない, 1:ある)	-0.043	-0.530
	主観確率 (%)	0.006 **	2.884
仮想状況 事実情報	時間帯 (0:昼間, 1:夜間)	0.138	1.874
	時間雨量 (mm / hour)	0.005	1.292
	連続雨量 (mm)	0.002	1.792
	大雨注意報 (0:出ていない, 1:出ている)	-0.153	-1.173
	大雨警報 (0:出ていない, 1:出ている)	-0.047	-0.350
	濁水 (0:なし, 1:発生)	0.408 **	4.579
	崖崩れ (0:なし, 1:発生)	0.642 **	7.150
確率情報 避難勧告 (0:出ていない, 1:出ている)	0.658 **	8.084	
尤度比	0.498		
サンプル数	903		

** …… 1%有意

モデル分析の結果

- ❖ 世帯主の年齢の高い世帯ほど、避難行動は消極的
- ❖ 事前の主観確率が高い世帯は積極的に行動
- ❖ 雨量の情報だけでは行動に結びつかない
- ❖ 濁水や崖崩れなどの報告は避難行動につながるが、実際に予兆を知った時点では「手遅れ」になっている危険性がある。
- ❖ 大雨に関する予報では避難に結びつかない
- ❖ 避難勧告は積極的な避難に大きな効果がある

避難勧告の的中・誤報による 主観確率の更新モデル



世帯属性，避難勧告の的中・不的中，被災の有無を説明変数，
主観確率の向上・不変・低下を目的変数とする

Ordered Probit Model を推定

主観確率の更新モデルの推定結果

	説明変数	推定値	t値
世帯属性	年齢	0.008 [*]	2.283
	性別 (0:女性, 1:男性)	0.270 [*]	2.201
	居住年数	-0.009	-1.504
	介助者 (0:いない, 1:いる)	-0.139	-0.865
	子供 (0:いない, 1:いる)	0.143	0.972
	避難場所 (0:知らない, 1:知っている)	0.339 ^{**}	2.728
	防災用品 (0:準備なし, 1:準備あり)	-0.150	-1.916
	災害保険 (0:未加入, 1:義務付け, 2:知人の薦め, 3:自ら加入)	0.097 [*]	2.287
	過去の被災経験 (0:ない, 1:ある)	-0.108	-1.265
	主観確率	-0.792 ^{**}	-3.420
災害状況	前回の被害 (0:受けなかった, 1:受けた)	0.645 ^{**}	6.852
	避難勧告の的中 (0:不的中, 1:的中)	0.219 [*]	2.279
	尤度比	0.378	
	サンプル数	873	

^{**}...1%有意 ^{*}...5%有意

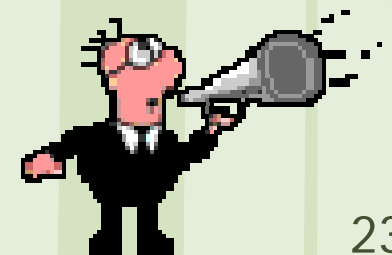
モデル分析の結果

- ❖ 事前の主観確率の高い世帯ほど、主観確率は低下しやすい
 - ❖ 避難勧告が的中の場合には主観確率は上昇する
 - ❖ 避難勧告の見逃しでは、実際に被災したことの影響が大きく、事前主観確率が0.81以下の世帯(約95%)で主観確率は上昇
 - ❖ 避難勧告の空振りでは事前主観確率が0.27以上の世帯(約8割)の主観確率は低下
- オオカミ少年効果がある



結 論

- ❖ 避難勧告・主観確率は避難行動に強く影響
- ❖ 避難勧告の空振りは、主観確率(信頼度)の低下をもたらす
- ❖ 避難勧告の空振りは長期的に避難行動を起こしにくくする(オオカミ少年効果がある)
- ❖ 発生確率の低い(早い)段階で積極的に避難勧告を出しづらい



ジレンマの解消方法

- ❖ 長期的には、住民が雨量などの事実情報を的確に判断できるように理解力を高める
災害の発生頻度が低くなっており、世代間の伝達はますます困難になっている
- ❖ 避難勧告の「空振りは、安全であったことを意味しない」ことを理解させる
- ❖ 他地域の災害事例を自分の地域に置き換えて意味を理解する努力をする



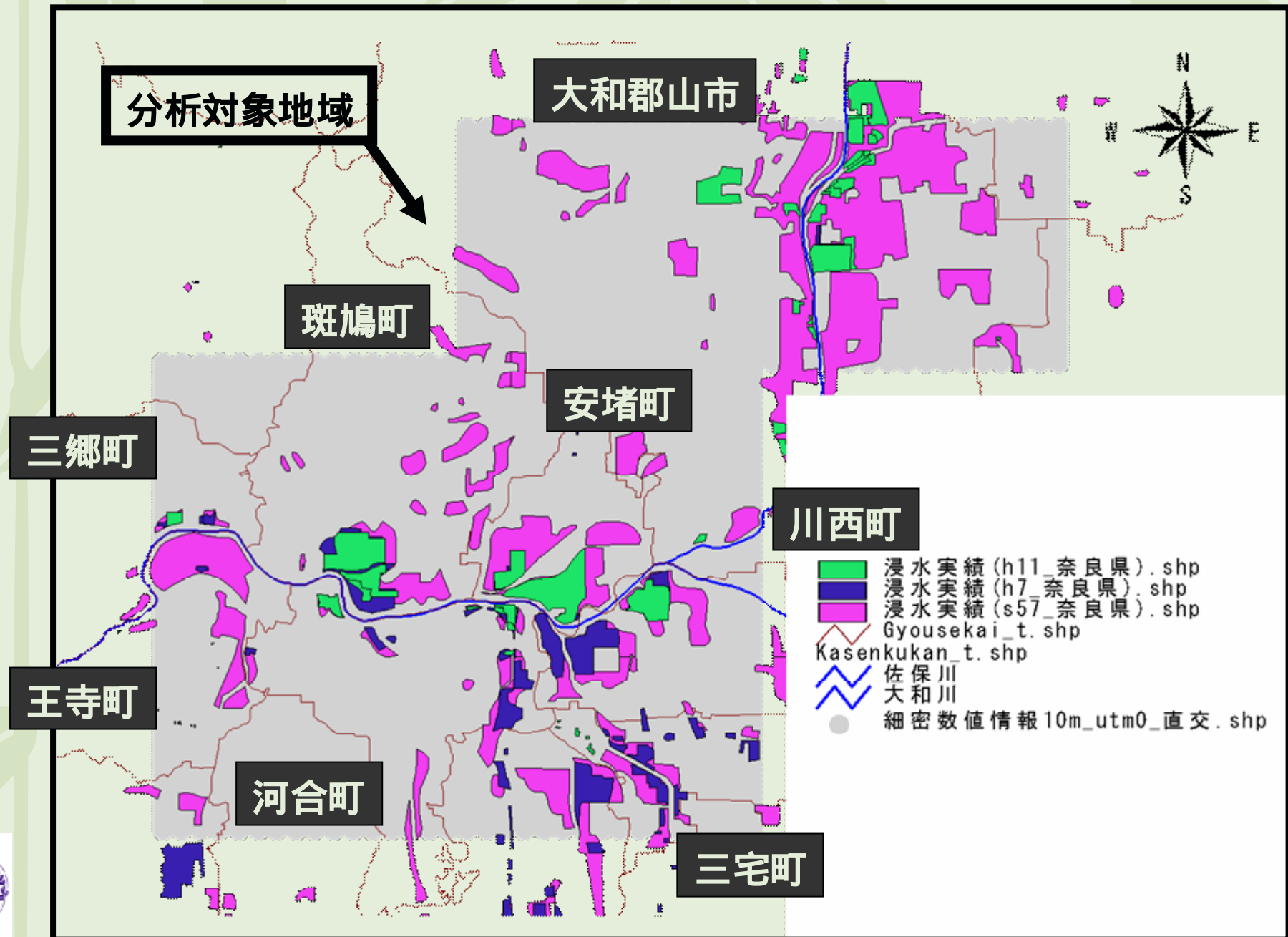
その2 「災害危険性と土地利用」

- ❖ 人々が災害(水害)の危険性をどの程度認知しているか？
 - ❖ 経済的な評価額を把握したい
- ❖ 水害の危険性のために実現していない**土地利用**がある
- ❖ 付けられるべき**地価**が付けられていない
- ❖ 土地利用・地価モデルによる計測

分析対象地域：奈良県大和川流域

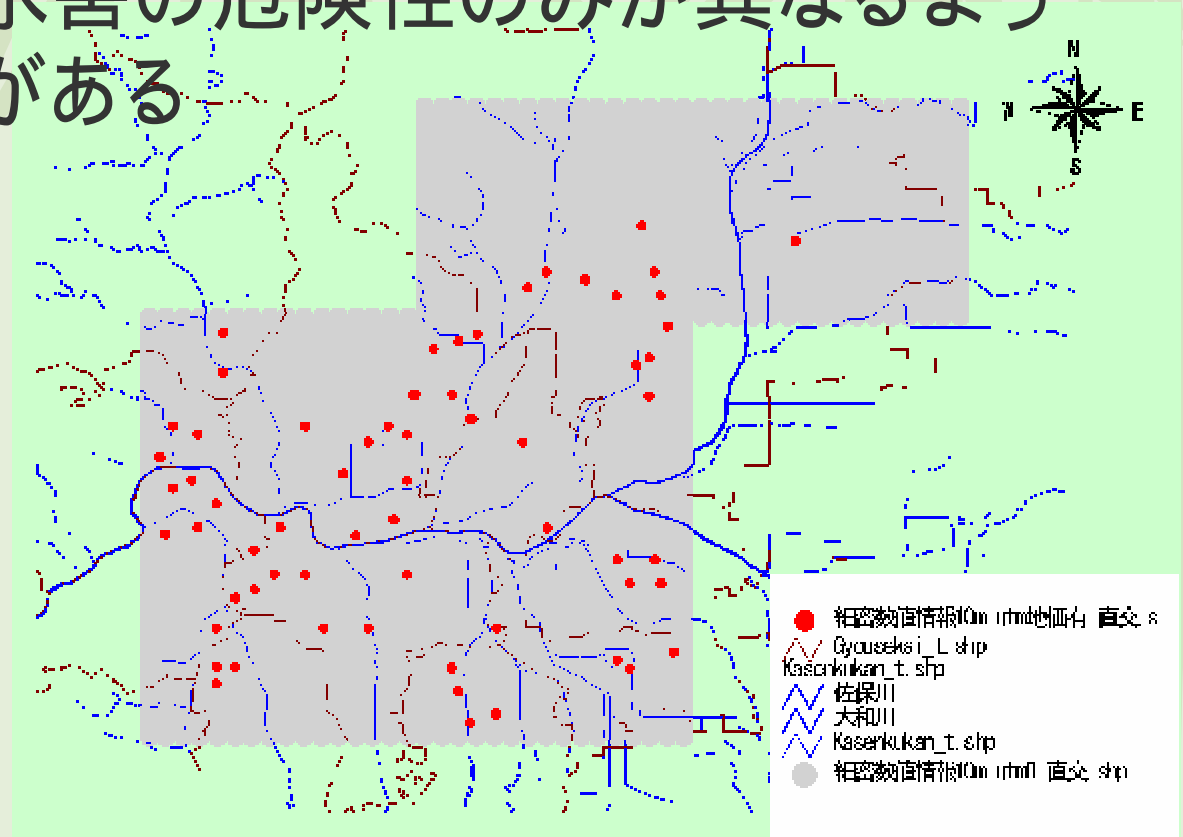
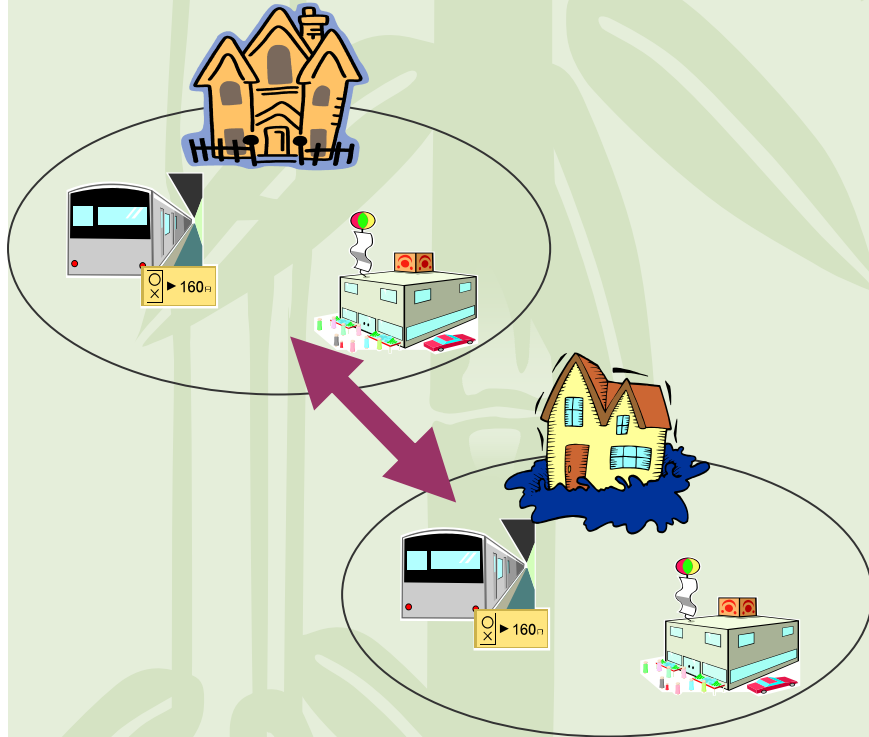


分析対象地域：奈良県大和川流域



地価分析法

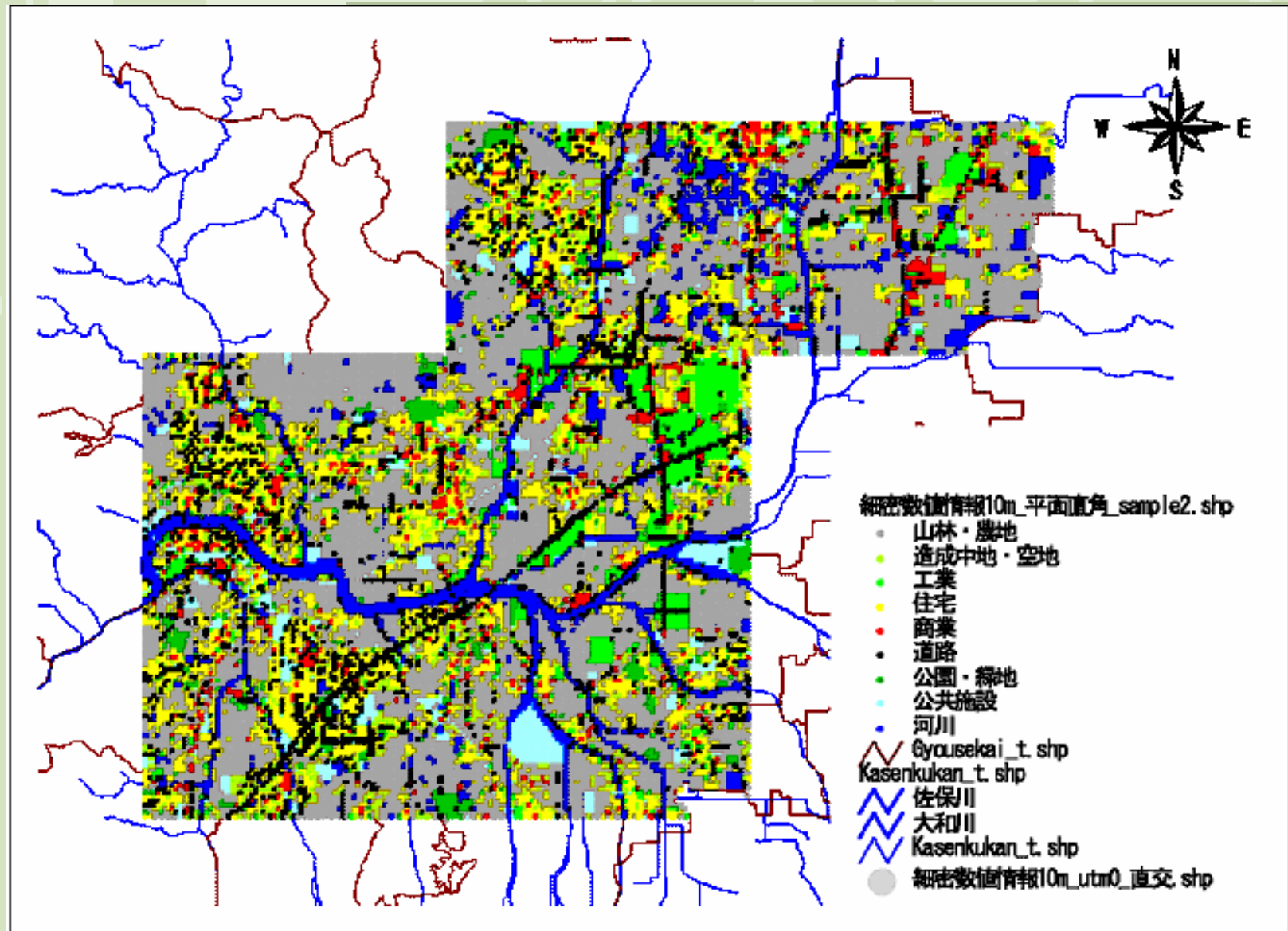
他の条件がほぼ同じで水害の危険性のみが異なるような地点を比較する必要がある



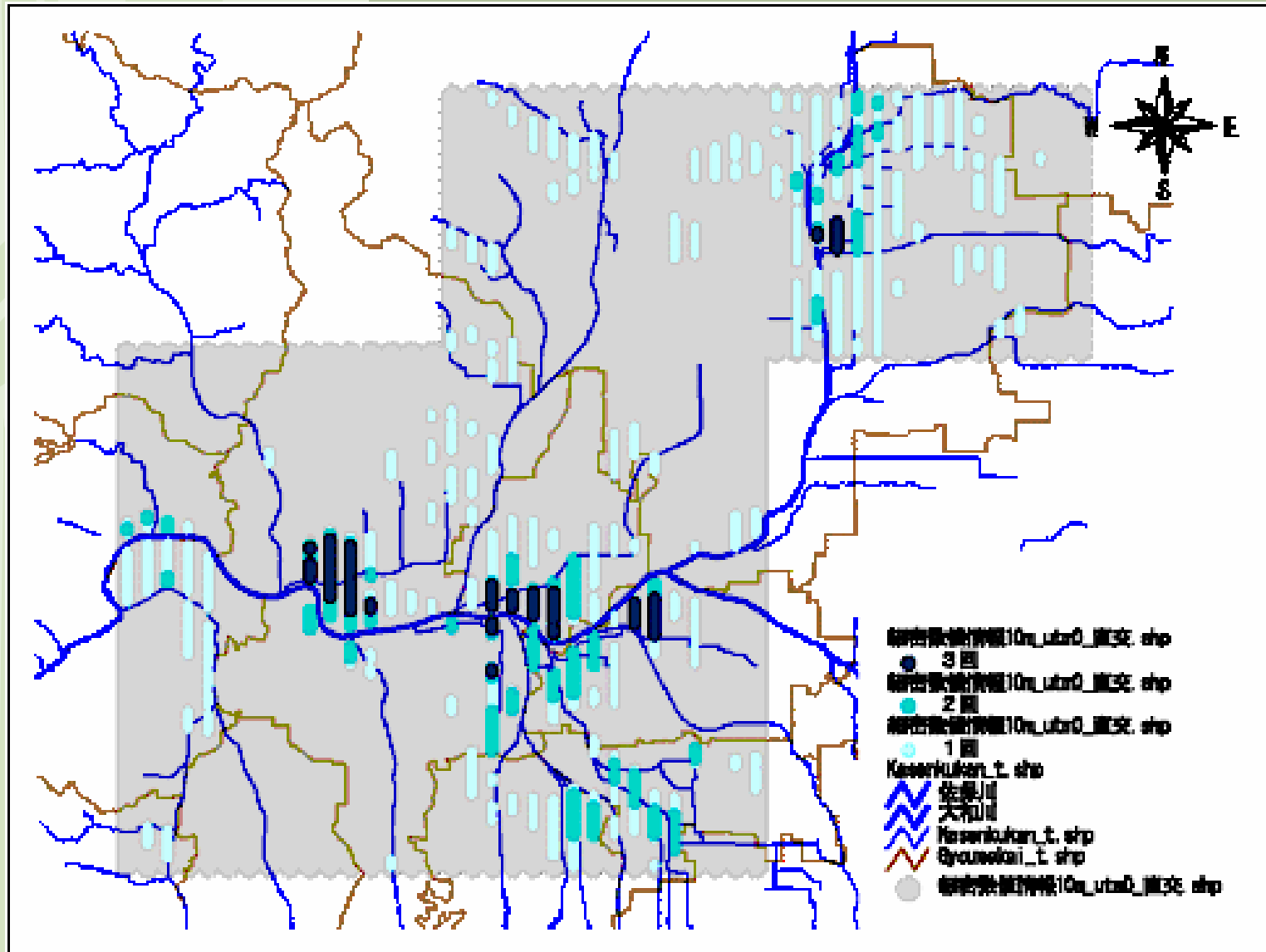
地価データは46箇所しか存在しない

地価と土地利用のデータを同時に用いる

奈良県大和川流域：現況の土地利用



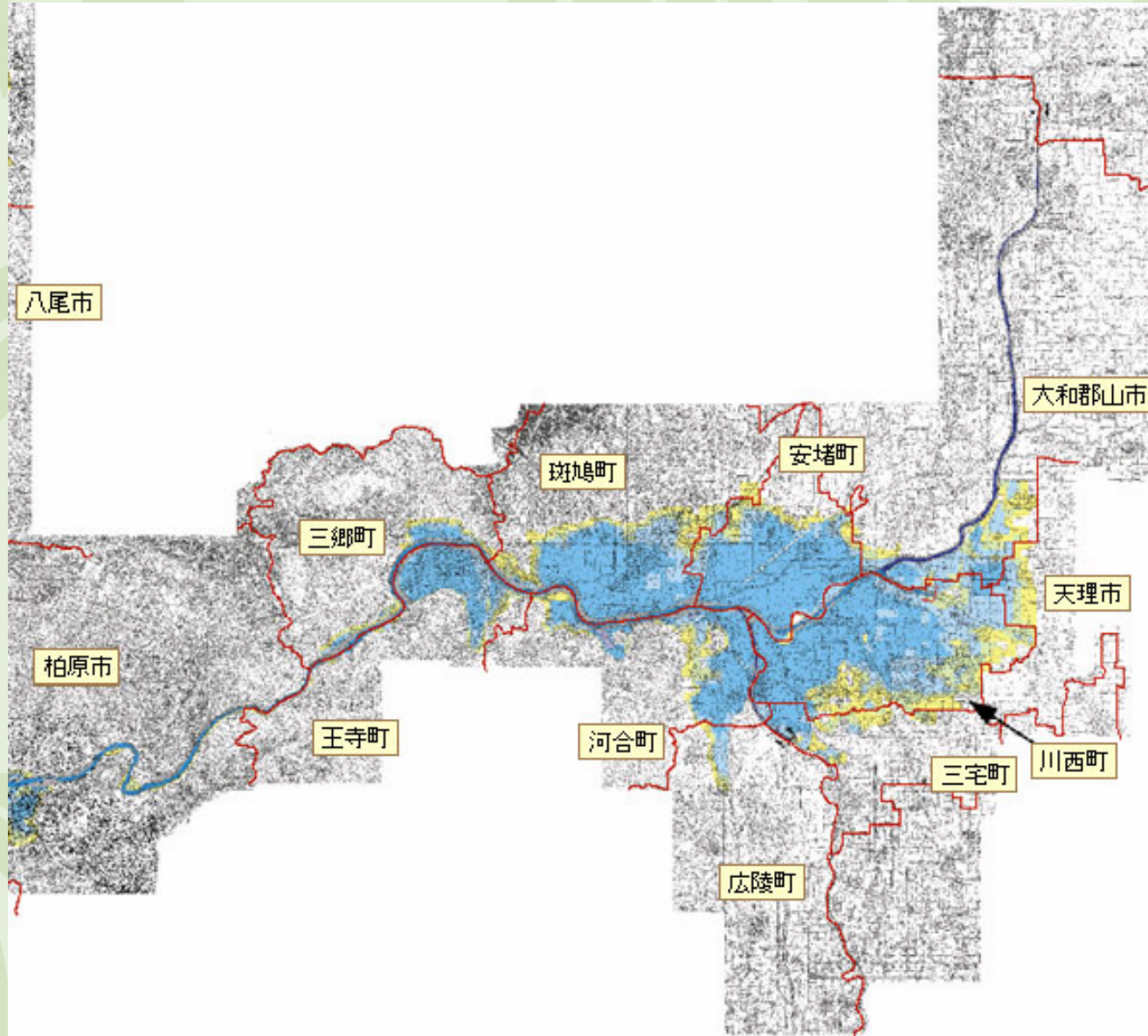
浸水経験回数(1985,92,99年)



昭和57(1982)年浸水の様子



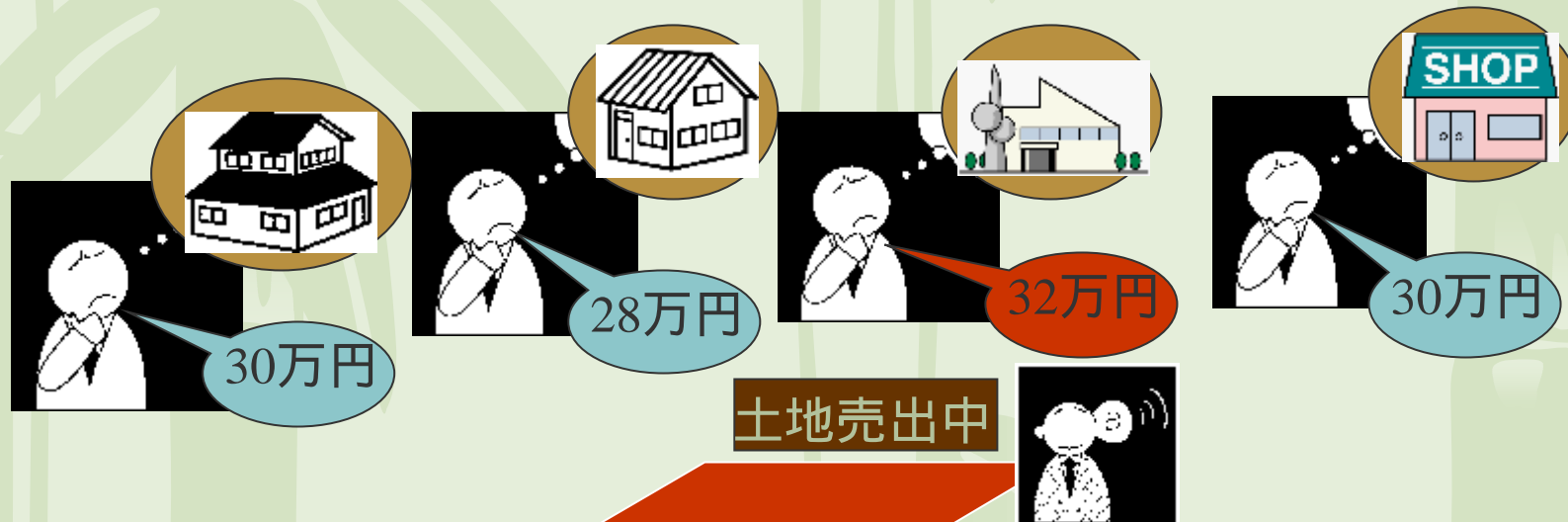
想定浸水深(150年に1度の雨による)



大和川河川事務所HPなど

ランダム付け値モデル

- ある土地について、立地主体が評価値を「付け値」として表明する



土地所有者は最大付け値の表明者に売る

ロジット型モデル

$$n_j = \frac{x(n)}{e^{p_j} V_i}$$

土地利用と水害のデータ

水害経験回数のほか、実績浸水深でも表現
水害と土地利用変化の前後関係にも注意

土地利用データ

S60 (85)

H8 (96)

水害実績データ

S57

(82)

H7

(95)

H1

1



地価土地利用同時推定モデル

実測用途を再現すると同時に、最大付け値と観測地価が等しくなるようにパラメータの推定を行う

土地利用変更のコストを考慮する

土地利用データ (S57, H8)

水害リスクを S57・H7 の水害経験回数とする

付け値関数

$$V_{in} = \beta_i^1 X_{in}^1 + \beta_i^2 X_{in}^2 + \beta_i^3 X_{in}^3 + \beta_i^4 X_{in}^4 + \varepsilon_i$$

V_{in} : メッシュ n における用途 i の付け値関数

X_{in}^i : 付け値関数の説明変数

β_i : パラメーターベクトル

ε_i : 誤差項

ロジットモデル

$$P_{in} = \exp(v_i) / \sum_{j \in J_n} \exp(v_j)$$

OPR_n : 地点 n の地価の観測値

$\Phi[x]$: 標準正規確率分布関数

対数尤度関数

$$L = \sum_i \sum_n \ln P_{in} + d_n \cdot k \cdot \ln \Phi \left[OPR_n - \left(\max_n (V_{in}) + \sum_{a=1}^2 \theta^a \delta_n^a \right) \right]$$

$d_n = 1$: 地価が観測されているメッシュ

$d_n = 0$: 地価が観測されていないメッシュ

前時点の影響の考慮

$$p_{in} = \text{prob}(v_k + (1 - \delta_{ki})(d + c)) > \text{prob}(v_j + (1 - \delta_{jk})(d + c))$$

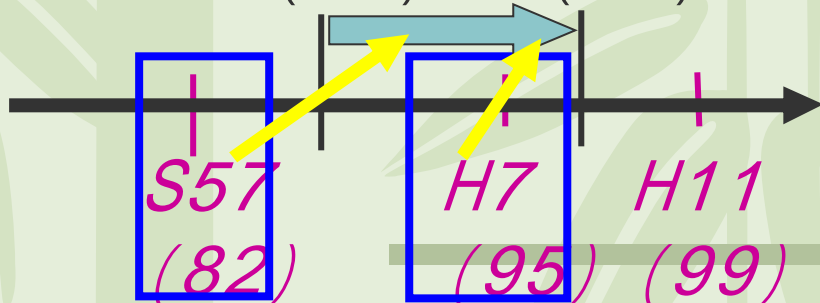
k : 正規分布項の影響力を補正する係数

d : 除去コスト c : 建設コスト

土地利用

S60 (85) H8 (96)

水害実績



尤度比: 0.52

建設コスト: 2.539

(用途変更による魅力増がある)

除去コスト: -0.455

(従前建物の除去費用がかかる)

水害経験回数のパラメータ

対象用途	推定値	t値
山林	-0.693 (0.50倍)	-10.37
農地	-0.420 (0.66倍)	-7.81
住宅	-0.395 (0.67倍)	-8.72
商業	-0.455 (0.63倍)	-3.74
工業	-0.616 (0.54倍)	-5.37

水害経験回数(0~2回)を考慮

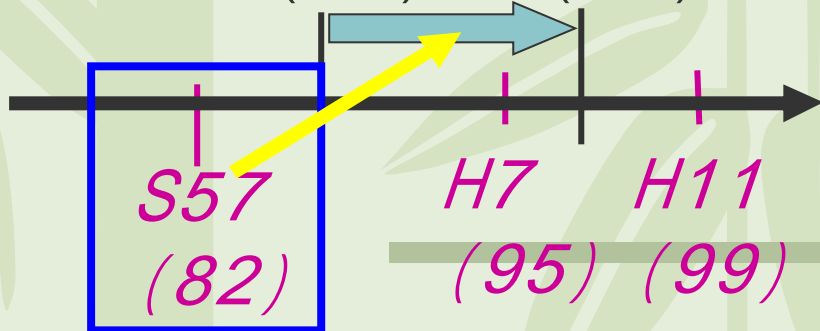
項目	用途	説明変数	推定値	t値
水害リスク 利便性	山林	水害経験回数	-0.693	-10.37 **
		駅までの距離	1.251	118.53 **
		主要道路までの距離	0.001	5.87 **
周辺環境		100m内の工業数	-0.011	-12.81 **
		100m内の住宅数	-0.004	-5.23 **
		100m内の商業数	-0.059	-13.26 **
水害リスク 利便性	農地	水害経験回数	-0.420	-7.81 **
		駅までの距離	1.547	240.75 **
		100m内の工業数	-0.021	-25.15 **
周辺環境		100m内の住宅数	-0.009	-18.67 **
		100m内の商業数	-0.010	-7.44 **
		市街化区域	-0.629	-13.82 **
水害リスク 利便性	住宅	水害経験回数	-0.395	-8.72 **
		大阪までの時間距離	0.008	2.18 *
		主要道路までの距離	-0.002	-10.74 **
周辺環境		病院までの距離	-0.438	-8.76 **
		文化施設までの距離	-3.410	-39.09 **
		警察までの距離	-0.170	-3.98 **
周辺環境		中学校までの距離	-0.256	-7.42 **
		小学校までの距離	0.562	12.82 **
		100m内の工業数	-0.013	-10.67 **
周辺環境		100m内の住宅数	0.019	32.20 **
		100m内の商業数	-0.014	-7.19 **
		100m内の公園・緑地数	0.006	3.15 **
利用規制		市街化区域	-0.772	-11.29 **
		用途規制(住宅)	0.260	4.66 **
		用途規制(商業)	1.150	4.32 **
利用規制		用途規制(工業)	-0.058	-0.43
		定数項	39.924	43.00 **
		水害リスク 利便性	商業	水害経験回数
水害リスク 利便性		大阪までの時間距離	0.000	-0.01
		主要道路までの距離	0.000	0.47
		100m内の工業数	-0.002	-1.32
周辺環境		100m内の住宅数	0.006	5.53 **
		100m内の商業数	0.036	17.64 **
		市街化区域	-0.341	-2.56 *
利用規制		用途規制(商業)	0.579	1.33
		定数項	5.559	13.10 **
		水害リスク 利便性	工業	水害経験回数
水害リスク 利便性		大阪までの時間距離	0.001	0.15
		主要道路までの距離	-0.001	-2.90 **
		100m内の工業数	0.013	21.40 **
周辺環境		100m内の住宅数	0.002	1.79
		100m内の商業数	0.006	2.35 *
		市街化区域	-0.721	-6.53 **
利用規制		用途規制(工業)	1.142	6.55 **
		定数項	6.689	19.32 **
		地価関数	分散	0.890
地価関数		大和川右岸(北側)	2.643	34.05 **
		大和川左岸(南側)	2.852	63.35 **
		コスト	建設コスト	2.539
コスト		除去コスト	-0.455	-3.02 **

利用決定時の影響力が大: 土盛対策の困難さ

尤度比 0.52
サンプル数 13771

土地利用

S60 (85) H8 (96)



水害実績

尤度比: 0.52

建設コスト: 2.566 (用途変更の魅力増)

除去コスト: -0.567 (従前建物除去費用)

浸水深のパラメータ

対象用途	推定値	t値
山林	-0.945	-15.24
農地	-0.769	-13.64
住宅	-0.837	-14.73
商業	-0.765	-12.89
工業	-0.763	-13.12

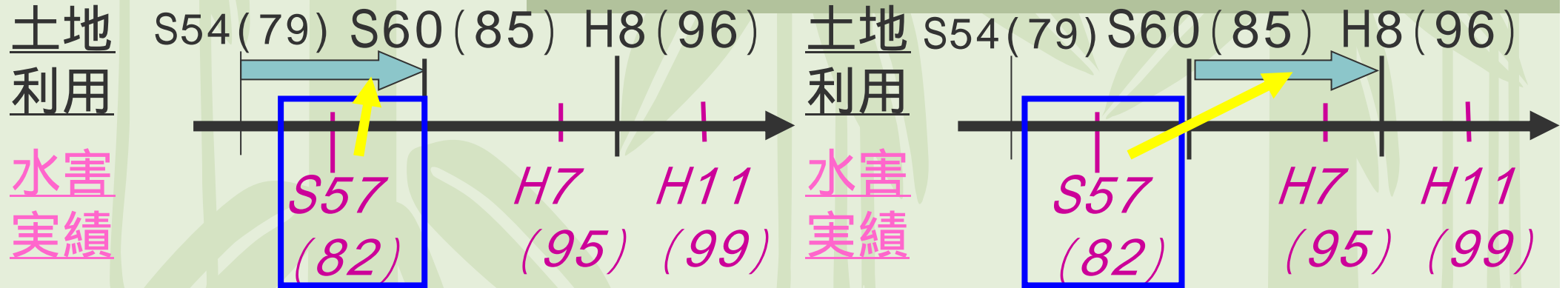
t値が大きくなり、的中率も上昇

浸水の回数よりも程度が影響力を持つ

S57の浸水深を考慮

項目	用途	説明変数	推定値	t値		
水害リスク 利便性	山林	S57浸水深	-0.945	-15.24	**	
		駅までの距離	1.279	118.08	**	
		主要道路までの距離	0.001	5.73	**	
		周辺環境	100m内の工業数	-0.012	-13.35	**
		100m内の住宅数	-0.006	-9.02	**	
		100m内の商業数	-0.050	-11.78	**	
水害リスク 利便性	農地	S57浸水深	-0.769	-13.64	**	
		駅までの距離	1.578	230.22	**	
		周辺環境	100m内の工業数	-0.022	-26.08	**
			100m内の住宅数	-0.011	-23.13	**
		100m内の商業数	-0.008	-5.90	**	
利用規制		市街化区域	-0.601	-13.13	**	
水害リスク 利便性	住宅	S57浸水深	-0.837	-14.73	**	
		大阪までの時間距離	0.022	5.87	**	
		主要道路までの距離	-0.002	-11.14	**	
		病院までの距離	-0.393	-7.94	**	
		文化施設までの距離	-3.108	-35.05	**	
		警察までの距離	-0.153	-3.66	**	
		中学校までの距離	-0.378	-11.60	**	
		小学校までの距離	0.606	13.92	**	
		周辺環境	100m内の工業数	-0.015	-11.70	**
			100m内の住宅数	0.016	30.23	**
			100m内の商業数	-0.007	-3.92	**
			100m内の公園・緑地数	0.008	4.36	**
		利用規制	市街化区域	-0.725	-10.91	**
			用途規制(住宅)	0.002	0.04	
	用途規制(商業)	1.004	3.82	**		
	用途規制(工業)	-0.133	-0.99			
	定数項	37.104	39.21	**		
水害リスク 利便性	商業	S57浸水深	-0.765	-12.89	**	
		大阪までの時間距離	0.005	0.72		
		主要道路までの距離	0.000	0.67		
		周辺環境	100m内の工業数	-0.002	-1.67	
	100m内の住宅数	0.004	3.83	**		
	100m内の商業数	0.039	19.08	**		
利用規制	市街化区域	-0.299	-2.22	*		
	用途規制(商業)	0.581	1.35			
	定数項	5.436	12.48	**		
水害リスク 利便性	工業	S57浸水深	-0.763	-13.12	**	
		大阪までの時間距離	0.008	1.29		
		主要道路までの距離	-0.001	-2.83	**	
		周辺環境	100m内の工業数	0.013	20.78	**
	100m内の住宅数	0.000	-0.11			
	100m内の商業数	0.009	3.46	**		
利用規制	市街化区域	-0.643	-5.79	**		
	用途規制(工業)	1.123	6.39	**		
	定数項	6.486	18.26	**		
地価関数	分散	大和川右岸(北側)	0.893	78.44	**	
		大和川左岸(南側)	2.700	58.78	**	
		コスト	建設コスト	2.566	32.75	**
	除去コスト	-0.567	-3.79	**		
尤度比		0.52				
サンプル数		13771				

土地利用の目的年次の違い



S57(82) 浸水深のパラメータ

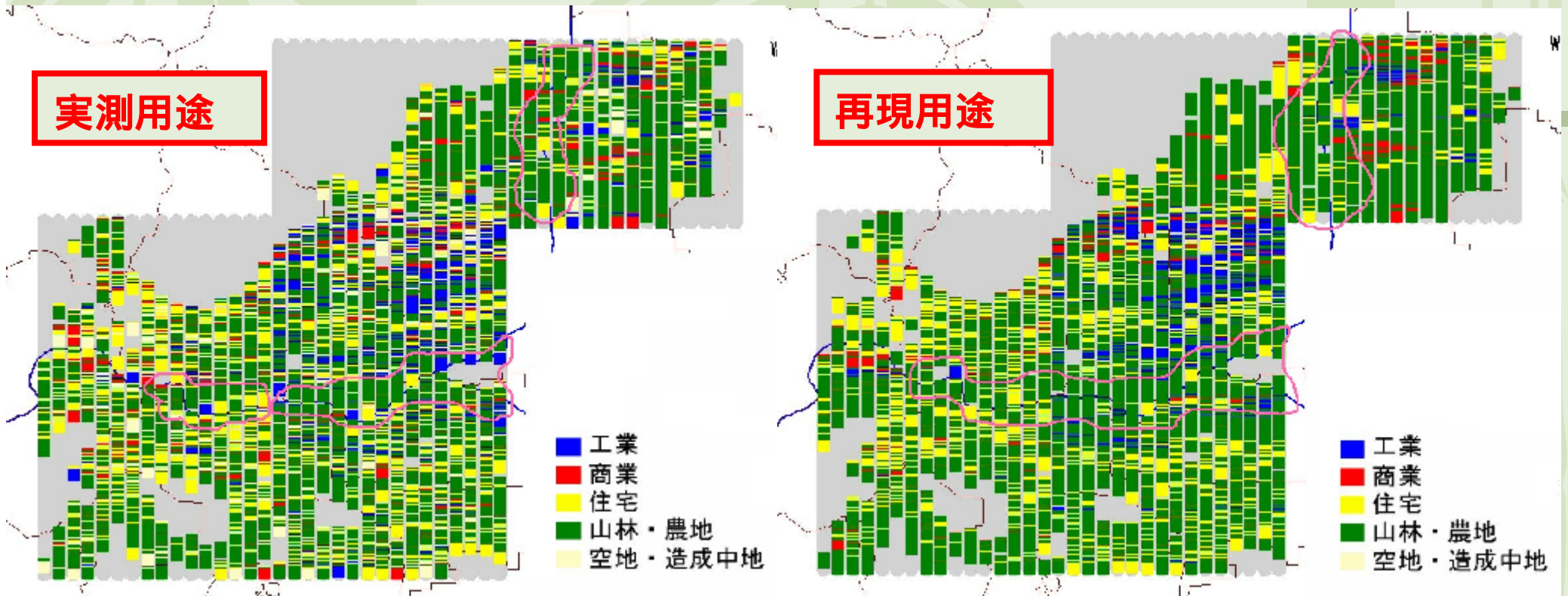
対象用途	推定値	t値
山林	-0.322	-8.14
農地	-0.050	-2.67
住宅	-0.124	-5.48
商業	-0.019	-2.13
工業	-0.069	-3.20

S57(82) 浸水深のパラメータ

対象用途	推定値	t値
山林	-0.945	-15.24
農地	-0.769	-13.64
住宅	-0.837	-14.73
商業	-0.765	-12.89
工業	-0.763	-13.12

水害の影響は直後(3年後)より以後(14年後まで)のほうが大きい

土地利用の再現結果



用途ごとの再現数と的中率

		実測用途					再現Total	的中率
		空地・造成中地	山林・農地	住宅	商業	工業		
再現用途	空地・造成中地	0	0	0	0	0	0	0.0
	山林・農地	812	7465	2235	453	591	11556	64.6
	住宅	278	1775	899	215	225	3392	26.5
	商業	47	219	132	63	74	535	11.8
	工業	100	336	126	65	296	923	32.1
	再現Total	1237	9795	3392	796	1186	16406	
	的中率	0.0	76.2	26.5	27.0	25.0		53.2

水害の影響について

- ❖ 地価の評価額が**水害**により、0.67倍(住宅)から0.54倍(工業)に**割り引**かれている。
- ❖ 水害の危険性がある土地は開発されにくい
- ❖ 将来の150年に一度の雨による浸水深の予測値を用いると、うまく説明できない。
 - ❖ 人々は、将来の危険度の認識よりも、過去の経験を重視しているのではないか？



分析結果のまとめ

- ❖ 水害経験回数よりも浸水深の方が、地価、土地利用に与える影響が大きい
 - ❖ 床上浸水か床下浸水かによる被害金額の違い
 - ❖ 土盛り対策コスト
- ❖ 水害が地価、土地利用に影響を及ぼすのには時間がかかる
 - ❖ 水害の影響がすぐに忘れられてしまう事はない
 - ❖ 分析に用いた公示地価は水害への反応が遅い？



水害対策への知見

- ❖ 住民は、水害の危険性をある程度認識して「**危険な場所を使わない**」傾向がある
- ❖ 認識は**過去の水害実績**に左右される
 - ❖ たまたま被害のなかった場所は「安全」だと思い込む
 - ❖ 他地域から新たに転入する人には伝わらない
- ❖ 水害の危険性を広く理解してもらおう
 - ❖ 不動産の売買で、**危険性の説明を義務化**
- ❖ 都市計画上の**開発規制**を行う



付録：津波防災に関連して



安政元年(1854年)安政南海地震による津波
和歌山県広川町では死者36名、全家屋が被害
浜口梧陵は、水田の稲むらに松明で火をつけ避難させた
その後私財を使い高さ5m、延長600mの堤防を築いた



「稲むらの火」ブーム

- ❖ インド洋津波以降，特にクローズアップ
- ❖ NHK「そのとき歴史が動いた」



「稲むらの火」の紙芝居(製作:弘前大学理工学部地球環境学科)

<http://www.st.hirosaki-u.ac.jp/~tamao/Images/Kamishibai>

地元にもたらしたものの

❖ 「**広川町は危ない**」
というイメージ

❖ **埋立地の住宅地**
が売れなくなった

❖ **安定してきていた**
地価が再び下落



人びとは、自分との関係を切り離して、
安心感を得ようとする
その災害は「そこだけの話！」として
納得しようとする

おわりに

- ❖ われわれの住む日本は…
 - ❖ 火山や地震の多発地帯
 - ❖ 傾斜の激しい森林と河川
 - ❖ 津波や高潮の危険がある海岸地帯



災害を忘れず，備えをし，迅速に行動

- ❖ 直接の経験をしなくても，災害の危険性を学習して理解する
- ❖ 他の地域の「災害」から学ぶ





ご静聴
ありがとうございました
