

1. はじめに

大震災時の落橋、道路陥没、停電、電話不通、通信途絶、延焼火災、パニック等々数多くの輸送阻害要因は単一方向に順次推移するのみならず、互いに二重三重に影響を及ぼしあうものであることが知られている。数多くの震災要因が構成する複雑な因果連鎖構造あるいはそれらの波及効果を明らかにすることは、地震防災の立場から見て是非とも必要なことと思われる。以下においては震災時の陸上輸送障害に標的をしぼり、それがもたらされる因果連鎖の構造を主としてISM手法^{1,2)}により検討してみた例を紹介する。ここでの目的は、①陸上輸送障害の構造に関する一般的知見を得ること、および②震災対策分野へのISM手法の適用性を検討すること、などである。

2. 関連要因と多階層有向グラフ

地震が発生してから陸上緊急輸送に支障が起こるまでの過程に関連すると思われる要因を全部で79個挙げてこれらに順に番号を付けた(Tab. 1)。特定の地震や地域を想定してはいないが、鉄道・港湾をもつ近代的都市についての精粗様々な要因を拾い出してみたものである。メンタルモデルを作成する際には、最大級の地震が臨海都市の近海で発生し、津波による床上浸水で多くの避難住民が出るものとした。また、報道施設や電信・電話施設は市街地にあり山火事や田畑の火災はおこらないと考えた。

Fig. 1は一連の演算の後に得られた多階層有向グラフである。Tab. 1の要因の中で●印はレベル2に属するもの、○印はレベル7に属するものである。Fig. 1において次の点が指摘できる。

- ① 同一レベル内で水平に連結された要因はフィードバックループを構成する。レベル7(下位ループ)に属する要因は通常の意味の1次災害が多い。他方、レベル2(上位ループ)に属する要因は2次災害と呼ばれるものが多い。巨視的には、ほぼ妥当なグラフと思われる。
- ② 厳密にはレベル2の要因でレベル7の要因と明らかなフィードバック関係にあるものがある(例えば、要因73と要因47)のでレベル2~7の全要因は更に大きな1つのフィードバックループを構成することになる。
- ③ 因果連鎖を構成する要因にも必要条件となるものと十分条件となるものとの区別があるが、ISM手法ではこの区別が表現できない。従来の指摘にあるように因果関係の強さや速度・空間的規模などが表現できるよう手法の改良が望まれる。
- ④ 直接的関係を示す枝線が図中に幾本も追加されるべきであるが、所望の枝線が引けるように入力モデルを改変することは79個程度の要因数でも至難の業である。

3. フィードバックループの解析

レベル2とレベル7のループをそれぞれネットワークとみなし、要因間の近接度(近接指数)を最短路行列から算定する方法³⁾によりこれらのループ内部を調べてみた。近接指数は、これが大きいほど他の多くの要因に全体的に近接していることを示すものである。前述のように、ここで用いたメンタルモデルは未だ完全なものとは言えないが、このモデルをもとに近接指数を計算しプロットしたのがFig. 2である。

レベル7(下位ループ)に関しては、要因7(家屋および建築物の浸水)が最右端にあることからこれが1次災害の中で最も広範な影響を及ぼし易いものであると言える。次に要因20(鉄塔および電柱の破損)、13および14(上下水道管網の破損)、6および11(道路の浸水・破損)などがそれに続いているが、これらが何れもいわゆるライフライン系に属するものであることは興味深い。最上端にある要因は48(停電)でこれが種々の要因により最も誘起され易いものであることを示している。次いで要因22(電信電話施設の破損)、47(群火災の発生および拡大)が続いているのも近年の都市の状況を考えれば首肯できる。

レベル2(上位ループ)に関しては、右端部に要因36(備蓄物資の損失)、35(避難住民の増加)、53(電話の需要急増)、41(飲料水の不足)などが集まっているが、これらは何れも緊急輸送のニーズに関連のある要因である。他方、上端部には要因73-78が寄り集まっているが、これらは何れも救援・応急対策の支障に関連する要因である。被災者の高いニーズが他へ強い悪影響を及ぼし救援・応急対策に支障をもたらすという最も警戒すべき悪循環のループを上位ループが構成していることになる。

下位ループと上位ループとでは図的に大きな相異点がある。すなわち下位ループでは多くの要因が図の中央部に集まっているのに対し、下位ループでは右端と上端に大きく分離している点である。前者のタイプは全体的には要因間の連鎖性が弱いため、このループを鎮静化させることは比較的容易であると思われる。一方、後者のタイプは全体として被害要因の影響度と被影響度が高いことから、いわば自己増幅型あるいは自励型のループであり、このループに入ると被害が急激に拡大する恐れがあると言えよう。これらの図から計らずも震災を1次被害の段階で食い止めることの重要性が改めて認識される。

参考文献

- 1) 田村坦之: 構造モデリング — 理論とアルゴリズムを中心にして — 計測と制御 18-2, 1979年
- 2) J.N. Warfield: Societal Systems — Planning, Policy and Complexity —, John Wiley & Sons, 1976.
- 3) 三星通広: 都市部における地震時の被害波及構造に関する基礎的研究、長岡技術科学大学大学院修士論文、1982年

1. 大地震発生
2. 地殻変動（断層、隆起、陥没など）
3. 地盤振動
4. 津波発生
5. 地変（地割れ、斜面崩壊など）の発生
- 6. 道路および鉄道の浸水
- 7. 家屋および建築物の浸水
8. 農地の冠水
9. 地盤の液状化
10. ダムおよび堤防の破壊
- 11. 道路施設（道路、橋梁、歩道橋など）の破損
- 12. 鉄道施設（軌道、駅舎、トンネルなど）の破損
- 13. 下水道管網の破損
- 14. 上水道管網の破損
15. 貯油施設（タンク、防油堤など）の破損
16. ガス供給施設（タンク、ボンベなど）の破損
- 17. 家屋および建築物（塙、屋根瓦などを含む）の破損
- 18. 報道施設（新聞社、放送局など）の破損
- 19. 発電所および変電所の破損
- 20. 鉄塔および電柱の破損
- 21. 工場の破損
- 22. 電信および電話施設の破損
23. 漁港および港湾施設の破損
- 24. 架空線の切断
- 25. 地中線の切断
- 26. 医療機関の破損
27. 公共施設（学校、役所など）の破損
28. 野木の流出
- 29. 薬品の落下
- 30. コンロおよびストーブの転倒
- 31. 火災発生源
32. コンピュータの機能障害
- 33. 自家発電設備の故障
34. 農作物の被害
- 35. 避難住民の増加
- 36. 飼育物資の損失
37. 石油類の流出および拡散
- 38. 陸上火災発生
39. 海上火災発生
- 40. 給水機能の低下（断水、給水制限など）
- 41. 飲料水の不足
42. 下水道の使用不能
- 43. 伝染病の発生
44. 有毒ガスの発生
- 45. ガス爆発
- 46. 竜巻や強風による飛び火
- 47. 群火災の発生および拡大
- 48. 停電
49. 排水機能の低下
50. 信号機の故障
51. 照明灯の故障
52. 地下施設（地下街、地下道など）の浸水
- 53. 電話の需要急増
- 54. 電話不通
- 55. 通信途絶
- 56. 情報収集の支障
- 57. 通信連絡の支障
- 58. 誤情報の伝播
- 59. 社会的不安の拡大
- 60. パニックの発生および拡大
- 61. 死傷者の発生増加
- 62. 治安の混乱
- 63. 道路交通障害
- 64. 鉄道交通障害
- 65. 海上交通障害
- 66. 被災者の避難障害
- 67. 医療機関の不足
- 68. 生活必需品（食料、衣料など）の不足
- 69. 医薬品の不足
- 70. 被災状況の評価の支障
- 71. 民間自衛団の組織化および運営の支障
- 72. 公的震災対策本部の設立および運営の支障
- 73. 消火活動の支障
- 74. 啓発・復旧活動の支障
- 75. 救援物資の調達と輸送の支障
- 76. 応急復旧用資機材の調達と輸送の支障
- 77. 応急復旧作業員や救援人員の確保と輸送の支障
- 78. 観光客および疎開者の搬出の支障
79. 大震災時における緊急輸送の支障

(note)

● element in level 2,

○ element in level 7.

Tab. 1 要因一覧表

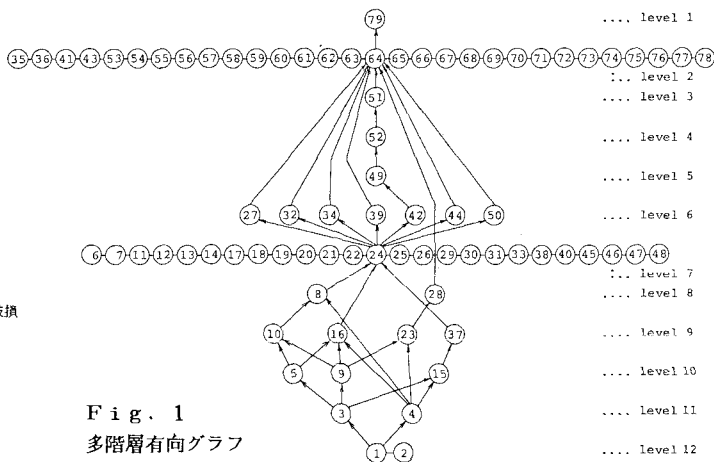


Fig. 1
多階層有向グラフ

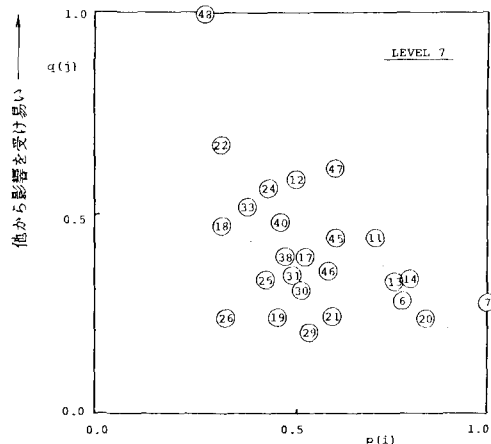
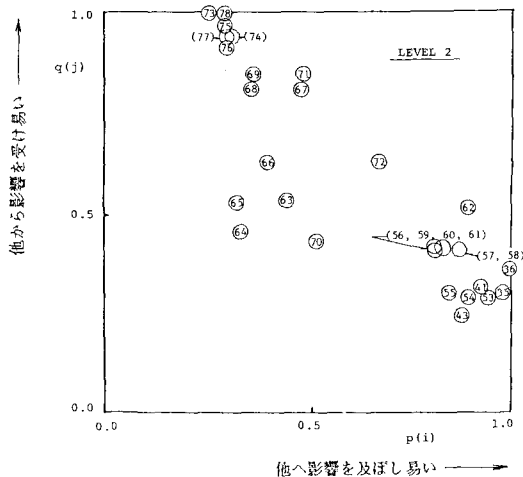


Fig. 2

ループ構成要因の近接度

他へ影響を及ぼし易い