JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	石川県を中心とした国道ネットワークの非交差経路の組み合わせ数による定量評価
Author(s)	河越，聖
Citation	
Issue Date	2023-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/18303
Rights	
Description	Supervisor: 林 幸雄，先端科学技術研究科，修士(情報科学)

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

修士論文

石川県を中心とした国道ネットワークの非交差経路の組み合わせ数による定量評価

河越 聖

主指導教員 林 幸雄

北陸先端科学技術大学院大学
先端科学技術研究科
（情報科学）

令和５年３月

Abstract

Many of the infrastructure systems in modern society can be represented by simple networks of points and edges. However, these networks are becoming larger and more complex, and the consequences of damage are likely to increase. Road networks, one of the most important infrastructures in modern society, are no exception. The severance of infrastructure due to earthquakes, snow damage, etc. have had a major impact on logistics. However, if alternative routes can be constructed to avoid the damaged parts of the network when it is damaged, the network can be resilient to failure. To facilitate the construction of alternative paths, the number of paths in the network that do not share points or edges with each other, i.e. non-intersecting paths, is important. Therefore, it is possible to evaluate the resilience of the network to disasters by using the non-intersecting paths as a numerical indicator of the resilience of the network to failures. It is known from the national freight semi-flow survey that 90% of the distribution to Ishikawa Prefecture is from the Kansai, Chubu, and Kanto regions. In this study, the number of non-intersecting routes is calculated for the national road network from Ishikawa Prefecture to Osaka, Aichi, and Tokyo, which are the representative points of Kansai, Chubu, and Kanto, the central cities of logistics. However, it is known that the computational complexity of the problem of finding the number of non-intersecting routes is enormous since each side of the national road network has two possible ways of passing in both directions. Therefore, in this study, the target network is mapped onto a planar, unclosed, finite, and directed graph, so that the properties of the path sum matrix, a method of mathematical physics, can be applied, and the number of non-intersecting paths is obtained in an approximate manner. The path sum matrix is a matrix whose components are the sum of the number of paths connecting the start and end points corresponding to each row and column. In order to apply the particularity of the path sum matrix, a fitness condition exists. The fitness condition refers to the fact that the combinations of start/end points in the target network are aligned on a boundary that is isomorphic to the circle. In this case, the boundary is planar and does not allow three-dimensional intersections. The submatrix of the path sum matrix satisfying the Fitness condition has a non-intersecting path representation. Therefore, the number of non-intersecting routes can be obtained from the sum of the sub-matrices by creating a path sum matrix connecting the first neighbours of the start and end points of the network to be analysed with a circular planar boundary. In this study, the national road network was mapped using a geographical information system based on road data distributed by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport, and Tourism. The mapping is directed so that no closed roads and no detours are allowed by orientating the vectors of start/end points on

the network so that the inner product with the edges is greater than zero. By using the algorithm of token propagation on the mapped data, the number of paths of the target start and end points is efficiently obtained and a path union matrix is created. The algorithm of token propagation takes a certain point as a starting point and passes tokens to neighbouring points. The value of the token at each point is equal to the number of times it is passed, i.e. the number of times it is passed, so the path sum can be obtained in a closed, finite and directed network. From the above process, a route summation matrix was created, and the number of non-intersecting routes was obtained and evaluated. In addition, the possible effects of disasters were analysed by comparing the results with the situation in which major national roads were made unusable. The results of the analysis show that there are several localities where the number of non-intersecting routes is reduced to zero when one major national road becomes unusable. For example, when National Highway No. 8 is disabled, there is only one route in Fukui and Shiga Prefectures, and the number of non-intersecting routes from Ishikawa to Osaka is zero. If Route 158 is not available, there will be no route connecting Gifu and Nagano from east to west, and the number of non-intersecting routes from Ishikawa to Tokyo will be zero. Therefore, the national road network to Ishikawa Prefecture is found to be heavily dependent on two national roads. National Highway No. 8 and No. 158 are well-known for the damage caused by snow. It is considered that the unavailability of major national roads in the event of a disaster would have a significant impact, and it is, therefore, clear that new routes need to be constructed to avoid damage to logistics.

目 次

第 1 章　はじめに **1**
1.1　研究背景 1
1.2　研究目的 1

第 2 章　関連研究 **3**
2.1　非交差経路 3
2.1.1　経路和行列 4
2.1.2　非交差経路の組み合わせ数の計算 4
2.1.3　適合条件 6
2.1.4　ネットワークの作成と無閉路な有向グラフへのマッピング法 8
2.1.5　隣接行列を用いた経路和行列の計算 8
2.1.6　トークン伝播を用いた経路和行列の計算 9

第 3 章　アルゴリズム **10**
3.1　トークン伝播のアルゴリズム 10
3.2　経路和行列作成と非交差経路の組み合わせ数計算のアルゴリズム . . 11

第 4 章　実験方法 **14**
4.1　石川県までの国道ネットワーク 14
4.1.1　評価法 21
4.2　実験結果と考察 21
4.2.1　隣接行列を用いる場合とトークン伝播を用いる場合の実行時間の比較 22
4.2.2　今後の課題 23

第 5 章　おわりに **24**

付 録 A　主要国道の各 1 辺のみをカットした場合の非交差経路の組み合わせ数 **27**

付 録 B　QGIS のマニュアル **35**

図 目 次

2.1 3 本の組み合わせ, 非交差経路の組み合わせ数 2 通りのネットワーク 3
2.2 平面的・無閉路・有限・有向なネットワークの例 5
2.3 (左)$S_a - T_a$ 間の経路 4 本, （右）$S_a - T_b$ 間の経路 10 本 5
2.4 (左)$S_b - T_a$ 間の経路 1 本, （右）$S_b - T_b$ 間の経路 4 本 6
2.5 始終点が円と同相な境界上に並んだ状態 7
2.6 適応条件を満たす始終点の組み合わせ 7

4.1 単純化による交差を割ける場合 15
4.2 例外の場合 15
4.3 石川県境までの国道ネットワーク 17
4.4 国道 8 号線をカットした場合 18
4.5 国道 158 号線をカットした場合 19
4.6 国道 8 号線及び国道 158 号線をカットした場合 20

A.1 国道 8 号をカットする場合 (福井県内) 27
A.2 国道 8 号をカットする場合 (福井-滋賀県境) 28
A.3 国道 8 号をカットする場合 (滋賀県内) 29
A.4 国道 8 号をカットする場合 (富山県内) 30
A.5 国道 8 号をカットする場合 (富山-新潟県境) 31
A.6 国道 8 号をカットする場合 (新潟県内) 32
A.7 国道 158 号をカットする場合 34

表 目 次

4.1 石川県境までの国道ネットワーク 21
4.2 国道 8 号線をカットした場合 21
4.3 国道 158 号線をカットした場合 21
4.4 国道 8 号線及び国道 158 号線をカットした場合 21
4.5 real time の比較 (sec) 22
4.6 user time の比較 (sec) 23
4.7 system time の比較 (sec) 23

A.1 国道 8 号をカットする場合 (福井県内) 28
A.2 国道 8 号をカットする場合 (福井-滋賀県境) 29
A.3 国道 8 号をカットする場合 (滋賀県内) 30
A.4 国道 8 号をカットする場合 (富山県内) 31
A.5 国道 8 号をカットする場合 (富山-新潟県境) 31
A.6 国道 8 号をカットする場合 (新潟県内) 33
A.7 国道 158 号をカットする場合 34

第1章　はじめに

1.1　研究背景

電力網, 通信網, 鉄道網など現代社会における多くのインフラシステムは, 頂点と辺を用いた簡易的なネットワークとして表現できる. しかしながら, これらのシステムは大規模化及び複雑化しており, 障害時に及ぼす影響も拡大しやすい状況にある. 日本の道路ネットワークも例外ではなく, 度々被害を受けてきた. 例として, 2020 年 12 月の大雪による関越自動車道での立ち往生や 2018 年の北陸豪雪に加え, 西日本豪雨や東日本大震災など災害によるライフラインやインフラの断絶がしばしば起こっている [1, 2]. このような事態を回避するために, ネットワークが何らかの原因により破損した場合は, 代替経路を使用することが考えられる. 近年で言えば, 熊本地震の際などに物流代替路が活躍した事例がある [3]. 災害時に備え, 破損に対応可能なネットワークを考えるために, 代替経路の構築しやすさをどのように評価すべきかが注目されている. 代替経路はネットワークの破損箇所を避ける形で構成されるため, 代替経路を構築しやすくするには, 頂点や辺を共有しないような経路の数が重要である. つまり, 災害時に使用可能なネットワークを互いに独立な非交差な経路の組み合わせ数を求めることで評価することが可能となる. 非交差経路の組み合わせ数は, ネットワークにおける 2 頂点間の経路の組み合わせのうち, 互いに頂点や辺を共有しない経路の組み合わせの数である. 互いに頂点や辺を共有しない性質により, 代替経路となり得る.

1.2　研究目的

本研究の目的は, 石川県を中心とした国道ネットワークに対して, 代替経路の構築しやすさの指標となる非交差経路の組み合わせ数から定量的評価をすることで, 災害時の対策やネットワークの脆弱部発見に貢献することを目指す. 石川県への物資の流入の内, 9 割が関西・中部・関東を占めており, それぞれの中心都市から石川県境までの国道ネットワークを対象とする [4].
本研究では, ネットワーク評価の指標として非交差経路の組み合わせ数を用いる. この組み合わせの数を求めることにより, 組み合わせ数の少ない頂点間は, 脆弱部として評価できる. 非交差経路の組み合わせ数の計算には, 対象とする 2 頂点間の経路数を求める必要がある. しかしながら, 各辺が無向辺である場合, それぞれの

辺に双方向の通り方が考えられるため, 経路数を求めようとすると計算量が膨大になってしまう. そのため, 無閉路・平面的・有限・有向なネットワークに国道ネットワークをマッピング法することで, 後述する経路和行列を用いた数理物理の手法を利用し, 非交差経路の組み合わせ数を効率よく近似的に求めるものとする. また, 本研究では, 災害発生時に主要国道が通行不可になった場合を想定し, 主要国道をカットしたネットワークに対して非交差経路の組み合わせ数による評価を行うことで, 災害時に想定される影響を分析する.

第2章　関連研究

本章では, 数理物理の手法である経路和行列 [6] を利用した, 非交差経路の組み合わせ数の計算手法, 及び, そのための後述するマッピング法について説明する.

2.1　非交差経路

前述したとおり, 非交差経路とは, ネットワークにおける 2 頂点間の経路の組み合わせのうち, 互いに頂点や辺を共有しない経路の組み合わせである. そのため, 経路 $P_1, \cdots, P_k$ が非交差経路であるとき, 各経路の頂点集合 $T_1, \cdots, T_k$ を用いて, 以下の式を満たす.

$$T_i \cap T_j = \emptyset \tag{2.1}$$

ただし, $i \neq j$ かつ $1 \leq i \leq k, 1 \leq j \leq k$ である. 頂点を共有しないとき, 辺も共有しない. 本研究の評価の指標となる非交差経路の組み合わせ数について図 2.1 を用いて説明する.

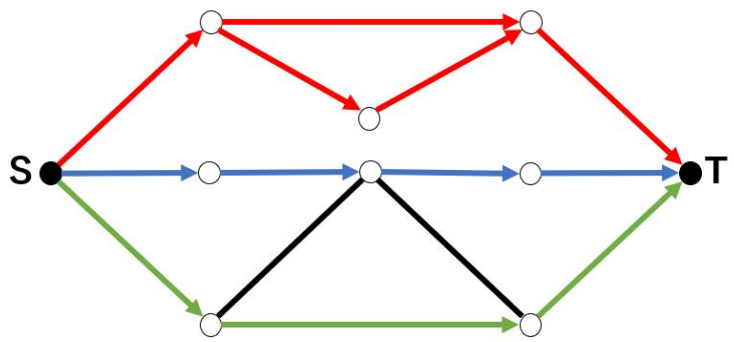


図 2.1: 3 本の組み合わせ, 非交差経路の組み合わせ数 2 通りのネットワーク

図 2.1 において, 始点 S から終点 T までの経路において赤・青・緑の経路は, 互いに各辺や頂点を共有することなく, 互いに独立している.
S-T 間における赤の経路は 2 通り, 青・緑は 1 通りずつなので 3 本の組み合わせにおける非交差経路の組み合わせ数は $2 \times 1 \times 1 = 2$ 通りとなる. しかしながら, 国

道ネットワークのような無向ネットワークの場合, 1 本の無向辺に対して, 双方向の通り方が考えられるため, 無向辺 n 本に対して, 2^n 通りの通り方が考えられるため, 現実の社会システムのような大規模ネットワークの場合, 小規模ネットワークと同様に総当たりで非交差経路を求めることは困難である.

そのため, 大規模ネットワークにおける非交差経路の組み合わせ数を求める際, マッピングを用いて, 有向化・無閉路化を行うことで近似化を図り, ある程度遠回りを許さないようなネットワークにする. これにより, 経路和行列の性質を用いて効率よく, 非交差経路の組み合わせ数を求めるが可能となる.

2.1.1 経路和行列

経路和行列について説明する [6]. まず, 経路和行列の各要素は始点 S から終点 T への経路について, 始終点間の互いに交差することを許す経路数である. 行と列はそれぞれ始点 $(S_1, ..., S_m)$・終点 $(T_1, ..., T_m)$ に対応し, その要素 $W(S_i, T_j)$ は S_i と T_j を繋ぐ交差を許す経路数である.

$$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} S_1T_1 & S_1T_2 & \cdots & S_1T_j \\ S_2T_1 & S_2T_2 & \cdots & S_2T_j \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ S_iT_1 & S_iT_2 & \cdots & S_iT_j \end{pmatrix} \tag{2.2}$$

無閉路・有限・有向なネットワークが後述する適合条件を満たす場合, ネットワークの経路和行列を用いて, 非交差経路の組み合わせ数を求めることが可能である.

2.1.2 非交差経路の組み合わせ数の計算

無閉路・有限・有向の条件を満たすネットワークの k 本の非交差経路の組み合わせを求める. 適合条件を満たす経路和行列 $\mathbf{W}$ の $k \times k$ の小行列式は対応した始終点間の非交差経路の組み合わせ数となる [6]. 下記のネットワーク図を例に説明を行う.

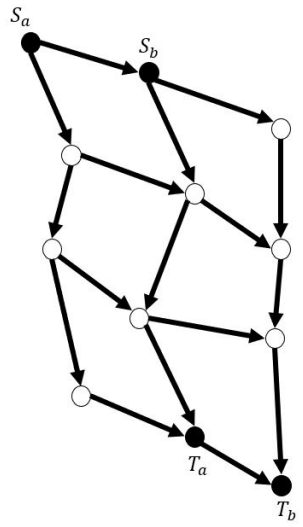


図 2.2: 平面的・無閉路・有限・有向なネットワークの例

図 2.4 のネットワークにおける各頂点間の互いに交差を許す経路は下図のとおり色分けできる.

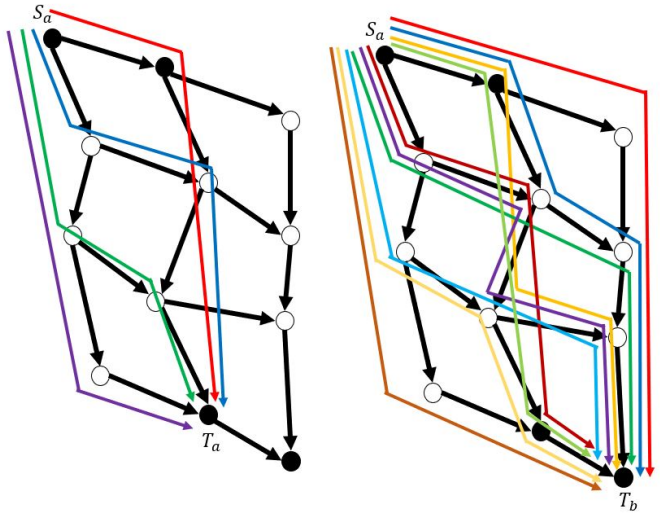


図 2.3: (左)$S_a - T_a$ 間の経路 4 本, （右）$S_a - T_b$ 間の経路 10 本

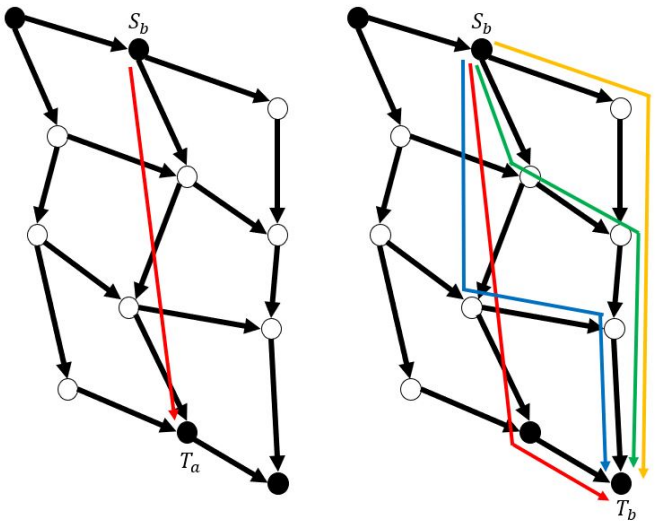


図 2.4: (左)$S_b - T_a$ 間の経路 1 本, （右）$S_b - T_b$ 間の経路 4 本

よって, 経路和行列 $\mathbf{W}$ 及び非交差経路の組み合わせ数は,

$$det\ \mathbf{W} = \begin{vmatrix} 4 & 10 \\ 1 & 4 \end{vmatrix} = 4 \times 4 - 10 \times 1 = 6 \tag{2.3}$$

となる.

2.1.3 適合条件

経路和行列を用いるには, 有限・有向・無閉路なネットワークを対象として, その始終点に対して円形平面性を持っていることが条件となる. 円形平面性とは, 図 2.2 のように経路和行列の始終点 S, T が円と同相な同一の境界上に並ぶことである. また, 経路和行列の並びに対応する様に, 各始終点が順々に並ぶ必要がある.

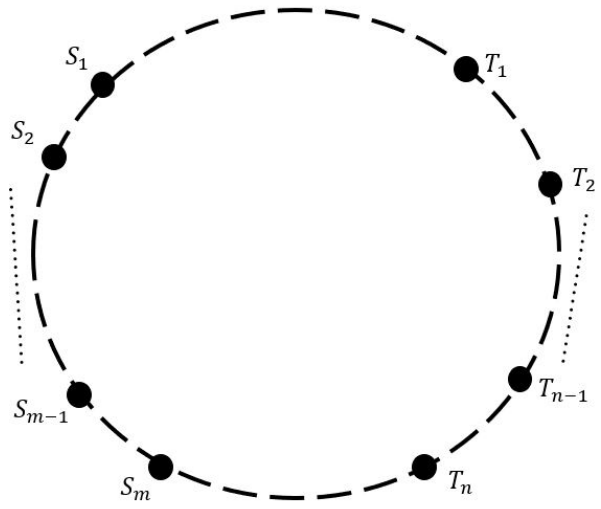


図 2.5: 始終点が円と同相な境界上に並んだ状態

円形平面性を満たすとき, 始終点は以下の適合条件を満たす.

$P \in \rho(S_i, T_j), Q \in \rho(S_k, T_l)$ かつ $i<k, j>l$ であれば P と Q は交差する [6]　(2.4)

適応条件を満たしている始終点の組み合わせの例として, 図 2.3 のネットワークが考えられる. ただし, $2<i<k, 2<j<l$ である.

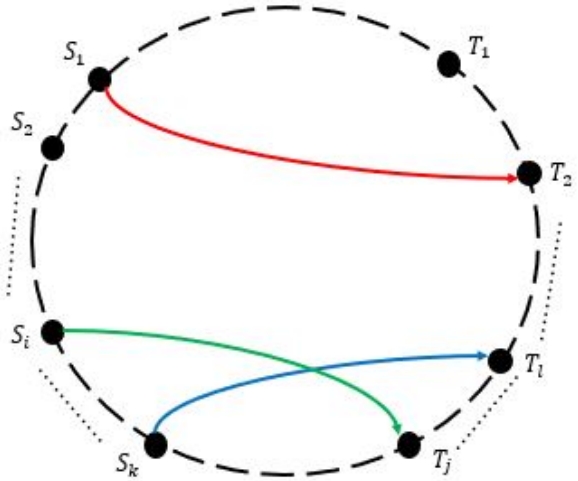


図 2.6: 適応条件を満たす始終点の組み合わせ

始終点の組み合わせが上記の適合条件を満たす時, 行列式 $detW$ が k 本の非交差

経路の組み合わせ数の組み合わせ数を与える [6]. ただし, 求められる経路は境界内に存在する経路を対象としている.

2.1.4 ネットワークの作成と無閉路な有向グラフへのマッピング法

有限・無向なネットワークの経路数を考える際, 1 本の辺につき, 双方向の辺の向きが考えられるため, m 本の辺に対して 2^m 通りの経路が発生し, 原理的に可能な有向グラフの組み合わせ数が膨大になる. また, 閉路を持つネットワークでは, 非交差経路の組み合わせを考える際, ある経路と閉路を持つ経路で無限通りの組み合わせが考えられてしまう. そのため, S から T 方向へ遠回りを許さないように有向化を行うことで, 有向・有限・無閉路なネットワークに落とし込み, 経路数の近似化を図り, 計算量を減らしつつ, 経路和行列の性質に適合出来るようにする [6]. マッピング法は, 以下の手順を行う. 始終点のベクトル $\mathbf{D}$ と始終点を除く頂点 N_i 及び N_j を繋ぐ辺のベクトル $e(N_i, N_j)$ の内積が正になるように有向化する. 以下の手順は, 有向化の表現として, 各頂点の隣接状況を表した隣接行列 $\mathbf{A}$ を例に用いる.

$$\begin{aligned} if(\mathbf{D} \cdot \mathbf{e}(N_i, N_j) > 0) \\ A(N_i, N_j) = 1 \\ A(N_j, N_i) = 0 \\ elif(\mathbf{D} \cdot \mathbf{e}(N_i, N_j) < 0) \\ A(N_i, N_j) = 0 \\ A(N_j, N_i) = 1 \end{aligned} \tag{2.5}$$

ただし, $\mathbf{D} \cdot \mathbf{e}(N_i, N_j) = 0$ の場合は, 例外として処理を行う.

2.1.5 隣接行列を用いた経路和行列の計算

経路和行列の各要素を求める最も素朴な手法に, 隣接行列 $\mathbf{A}$ を用いた以下の式が考えられる.

$$\sum_{l=1}^{M} \mathbf{A}^M \tag{2.6}$$

ただし, M は $0<M$ かつ A^M が零行列となる値である. しかしながら, この手法は後述する手法より計算量が相当大きいため, 大規模ネットワークに適用しにくい. そこで, 本研究では, 各頂点の接続関係を表す隣接リストを用いたトークン伝播による経路和行列の計算手法を用いる [7].

2.1.6 トークン伝播を用いた経路和行列の計算

まず, 始点の第 1 隣接にトークン”1”を設定する. トークンが設定された頂点から各頂点の隣接リスト参照し, 隣接している頂点にトークンを伝播していく. このとき, 各頂点の最小到達ホップ数を記録する. 同時に複数の経路から 1 つの頂点に伝播するトークンの値は伝播したそれぞれのトークンの値の和となる. また, 最小到達ホップ数より大きいホップ数で到達する際には, ずれている伝播部をずれているホップ数分トークンを伝播させることで最小到達ホップ数の差異を修正する. ホップずれを修正する場合, ホップ数は変化させない. これにより, 始点の各第 1 隣接頂点から終点の第 1 隣接まで伝播させることで, トークンの値を求めていく. 求めたトークンは, 始点の各第 1 隣接頂点からの経路和に等しい. トークン伝播法と隣接行列を用いる場合のプログラムによる実行時間の比較を行い, 大きな差が生じたことため, 後述の実験結果に掲載する.

第3章　アルゴリズム

ここでは, 2.2 にて述べたトークン伝播を利用した非交差経路の計算手法のアルゴリズムを記載する [7].

3.1　トークン伝播のアルゴリズム

まず繰り返し使用する関数 $propagate_token$ を定義する. 関数 $propagate_token$ は対象とする頂点から隣接リストを基に, 行き止まりもしくは T の第 1 隣接までトークン伝播を行う関数である.

Algorithm 1 propagate_token

Require: $M_up, Token, Hop, Z1, Z2, ; list, x_cord; list(coordinate), y_cord; list(coordinate)$
Require: $Adj; 2d_list(adjacent_list), S; start_n ord_num, T; target_nord_num, K; hop_count_num$

```
listM_up_tmp = []
while length(M_up) do
  for i ← 0 to length(M_up) − 1 do
    for j ← 0 to length(Adj[M_up[i]]) − 1 do
      if (x_cord[T]−x_cord[S])∗(x_cord[Adj[M_up[i]][j]]−x_cord[M_up[i]])+
      (y_cord[T]−y_cord[S])∗(y_cord[Adj[M_up[i]][j]]−y_cord[M_up[i]]) > 0
      then
        if Adj[M_up[i]][j]! = T then
          if Hop[M_up[i]][j] == 0 then
            Token[Adj[M_up[i]][j]]+ = Token[M_up[i]]
            Hop[Adj[M_up[i]][j]] = K
            M_up_tmp.append(Adj[M_up[i]][j])
          else if Hop[M_up[i]][j] == K then
            Token[Adj[M_up[i]][j]]+ = Token[M_up[i]]
          else
            Z1.append(M_up[i])
            Z2.append(Adj[M_up[i]][j])
          end if
        end if
      end if
```

```
        end for
    end for
    K+ = 1
    M_up = M_up_tmp
    M_up_tmp.clear()
end while
```

3.2 経路和行列作成と非交差経路の組み合わせ数計算のアルゴリズム

次に, トークン伝播による経路和行列の作成と非交差経路の組み合わせ数の計算アルゴリズムを以下に記載する. このアルゴリズムは, 始点の第 1 隣接からトークン伝播を行う. その後, 記録したホップずれ部から個別にトークン伝播を行い, 経路和行列の各行の要素を順に求めていく. これを始点の第 1 隣接数分繰り返す. 今回は, 本研究で使用する $k = 2$ 本の経路の組み合わせの場合を記載している.

Algorithm 2 Calculate Path Matrix for using token

```
Require: x_cord; list(coordinate), y_cord; list(coordinate), Adj; 2d_list(adjacent_list),
Require: S; start_nord_num, T; target_nord_num
matrixW = zeros
K = 1
zerolistToken, hop
listZ1, Z2 = []
for i ← 0 to length(Adj[S]) − 1 do
    Token[Adj[S]] = 1
    Hop[Adj[S]] = K
end for
K+ = 1
for i ← 0 to length(Adj[S]) − 1 do
    for j ← 0 to length(Adj[Adj[S][i]]) − 1 do
        if Adj[Adj[S][i]][j]! = T then
            if Hop[Adj[Adj[S][i]][j]] == 0 then
                Token[Adj[Adj[S][i]][j]+ = Token[Adj[S][i]]
                Hop[Adj[Adj[S][i]][j]] = K
            else if Hop[Adj[Adj[S][i]][j]] == K then
                Token[Adj[Adj[S][i]][j]+ = Token[Adj[S][i]]
            else
                Z1.append(Adj[S][i])
                Z2.append(Adj[Adj[S][i]][j])
```

```
        end if
      end if
    end for
    for j ← 0 to length(Adj[S]) − 1 do
      M_up = Adj[Adj[S][j]]
      propagate_token(M_up, Token, Hop, Z1, Z2, x_cord, y_cord, Adj, S, T, K)
    end for
    Z1_tmp, Z2_tmp = []
    while length(Z1)! = 0 do
      for k ← 0 to length(Z1) − 1 do
        Hop = [0, ..., 0]
        Token[Z2[j]]+ = Token[Z1[j]]
        Hop[Z2[j]]1 = 1
        K = 2
        propagate_token([Z2[j]], Token, Hop, Z1_tmp, Z2_tmp, x_cord, y_cord, Adj, S, T, K)
      end for
      Z1 = Z1_tmp
      Z2 = Z2_tmp
      Z1_tmp, Z2_tmp = []
    end while
    for j ← 0 to length(Adj[T]) − 1 do
      W(i, j) = Token[Adj[T][j]]
    end for
  end for
  int; Total = 0
  for i ← 0 to length(W) − 1 do
    for j ← 0 to length(W) − 1 do
      for k ← 0 to length(W) − 1 do
        for l ← 0 to length(W) − 1 do
          if i < j and k < l then
            if W[i][k] ∗ W[j][l] − W[i][l] ∗ W[j][k] > 0 then
              Total+ = W[i][k] ∗ W[j][l] − W[i][l] ∗ W[j][k]
            else
              Total+ = W[i][l] ∗ W[j][k] − W[i][k] ∗ W[j][l]
            end if
          end if
        end for
      end for
    end for
```

60: **end for**

第4章　実験方法

主要国道が使用不可である場合の影響を調べるため, 非交差経路の組み合わせ数を求める手法を, 石川県の県境から関西・関東・中部の代表点までの国道ネットワークに対して適応する. 特に, 石川県への物流の中心となる国道 8 号線や中部の東西を繋ぐ国道 158 号線をカットしたネットワークに対して, 非交差経路の組み合わせ数の比較を行う.

4.1　石川県までの国道ネットワーク

国土交通省が提供している GIS ホームページから, 道路及び行政区域のシェープファイルをダウンロードする [8]. ダウンロードしたシェープファイルを QGIS と呼ばれる地理情報システムに読み込ませて, 以下の前処理を行う. 道路データから必要な国道以外のデータを削除し, 交差点以外のベクトルを直線にすることで単純化を行う. このとき, 物流への影響を考えるため, 酷道と呼ばれる物流用経路として適さない国道を省いている [9]. ただし, 経路和行列に適用できる無閉路な平面グラフにマッピング法を行うために, ベクトル同士の交差を避けるようなベクトルの接合を許す. 例として, 下図のように本来なら緑色の経路を単純化し, 直線にするべきであるが, 直線にすると赤色の経路のように他の経路と重なってしまうため, 交差を避けるために緑色の経路はそのまま残す.

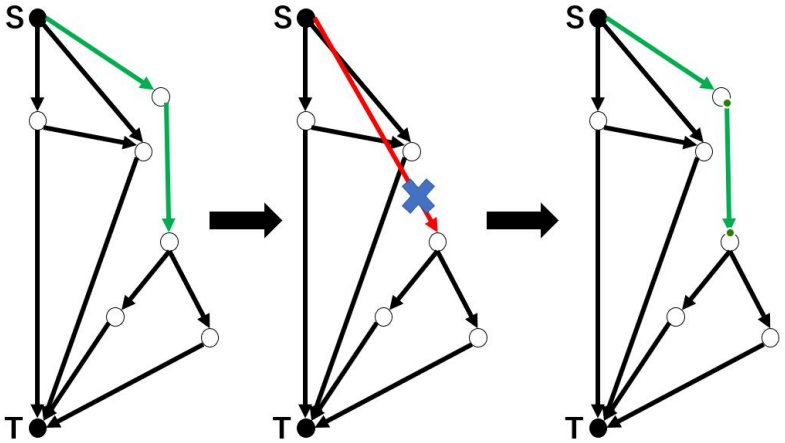


図 4.1: 単純化による交差を割ける場合

また, 例外として滋賀県内に存在する一部の僅かな箇所のみ下図のような交差点部の単純化を行う.

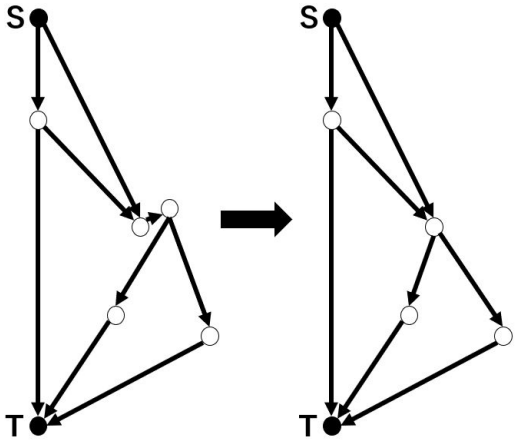


図 4.2: 例外の場合

今回は, 物流の始点を石川県庁所在地と考え, 主要都市付近までの経路として, 新潟・富山・長野・岐阜・福井・滋賀の 6 県からなるネットワークを作成した. その理由として石川県に発着するトラック計の貨物の内, 北陸からの貨物を除くと関西・中部・関東が大部分を占めているため, 各地方の中心地である大阪・愛知・東京付近までの国道ネットワークを対象とした [4]. 関西は京都・大阪への県境, 中部は三重北部及び愛知への県境, 関東は山梨・群馬・栃木への県境から代表点として, それぞれ大阪府庁所在地・愛知県庁所在地・東京都庁所在地へ繋ぐ.

下図が単純化を施した Pajek 形式 [10] のネットワークの可視化図である.

T(TK)
R8-NI
R8-NI
R8-NI

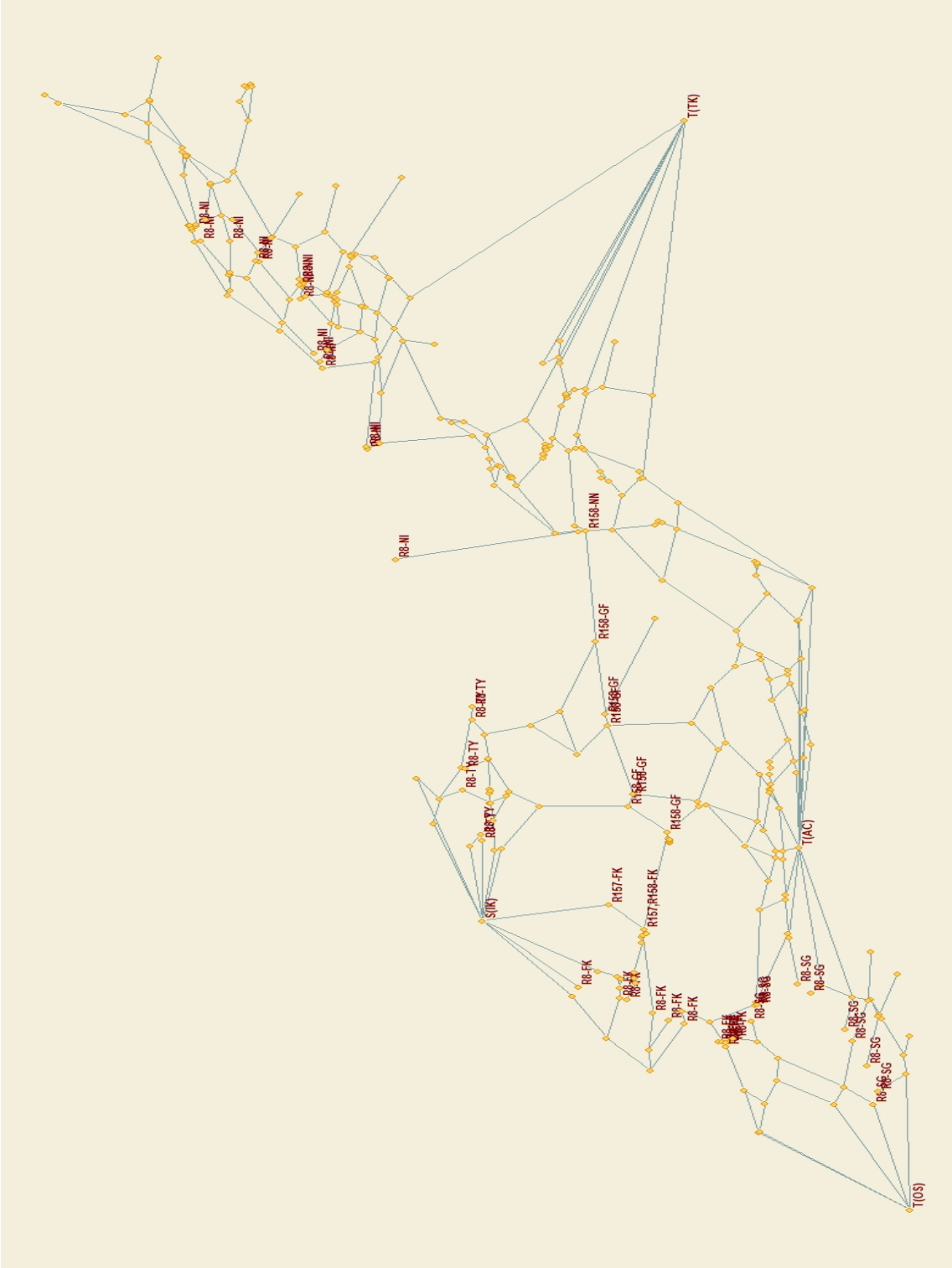


図 4.4: 国道 8 号線をカットした場合

T(TK)
R8-NI
R8-NI
R8-NI

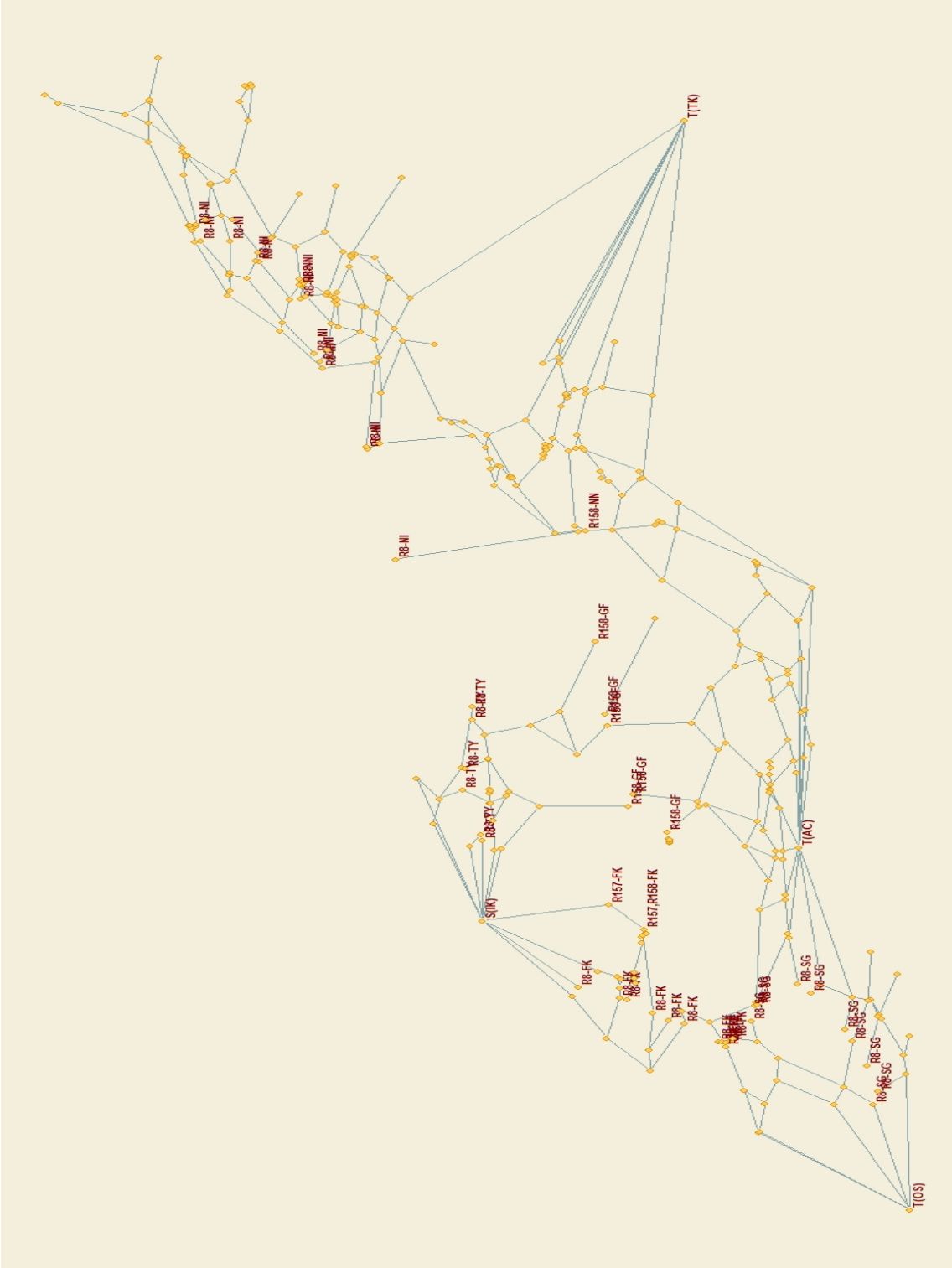


図 4.6: 国道 8 号線及び国道 158 号線をカットした場合

これらのネットワークを経路和行列を用いて非交差経路の組み合わせ数を求め

る．Pajek 形式のネットワークファイルから各頂点と辺の接続状況を読込み, 始終点のベクトルと各辺の内積を計算し, マッピングを行う．行ったマッピングの結果を基に各頂点の隣接リストを作成する．作成した隣接リストと頂点の情報を基に, トークン伝播を用いた経路和行列及び非交差経路の計算を行う．トークン伝播では, 石川から各終点までのベクトルを基に, 始点の第 1 隣接点から終点の第 1 隣接点までの経路数をそれぞれ求める．各第 1 隣接点同士の経路数を経路和行列 $\mathbf{W}$ の要素に対応させ, $k = 2$ 本の場合の非交差経路の組み合わせ数つまりは, $\mathbf{W}$ の 2×2 の小行列式の総和を求める.

4.1.1 評価法

主要国道カット前後において, 始点の石川と各終点間で計算し, 国道カット前後の非交差経路の組み合わせ数の比較を行う.

4.2 実験結果と考察

$k = 2$ とした非交差経路の組み合わせ数を, 先の国道ネットワークに適用した結果を表 4.1~表 4.4 に示す.

	大阪	東京	愛知
石川	4067442	123596	539832

表 4.1: 石川県境までの国道ネットワーク

	大阪	東京	愛知
石川	$4067442 \to 0$	$123596 \to 120$	$539832 \to 5829$

表 4.2: 国道 8 号線をカットした場合

	大阪	東京	愛知
石川	$4067442 \to 2562$	$123596 \to 0$	$539832 \to 46800$

表 4.3: 国道 158 号線をカットした場合

	大阪	東京	愛知
石川	$4067442 \to 0$	$123596 \to 0$	$539832 \to 0$

表 4.4: 国道 8 号線及び国道 158 号線をカットした場合

他のネットワークの解析結果は付録に記載する．これは, 石川県の物流が国道 8 号線及び国道 158 号に大きく依存していることを表している．例えば, 関西方面への経路として, 福井県内にある国道 8 号と国道 365 号を通る必要がある．しかしながら, このうち国道 8 号をカットすると経路は国道 365 号のみとなってしまう．また, 関東への経路は富山 → 岐阜 → 長野の順に経由するルートが中心であり, 国道 158 号が使用不可の場合, 新潟を経由して大周りするルートのみになってしまう．中部への経路は, 国道 8 号あるいは 158 号の片方が使用不可の場合でも, ある程度の非交差経路の組み合わせ数が存在しており, 災害時の影響を受けにくいと考えられる．しかしながら, 中部の代表点と石川県を繋ぐルートは, 福井または富山から南北に繋ぐ経路がそれぞれ 8 号と 158 号であるため, 両方の国道が使用不可の場合に非交差経路の組み合わせ数が 0 になる．石川県は大きな山地に囲まれていることもあり, 各地方への経路が限られてしまっている．そのため, 国道 8 号のような依存性の高い経路が発生し, 雪害などによる災害時の影響が大きくなりやすいことが考えられる．そのため, 各地方への経路を確保するには, 国道 8 号以外の新たな経路を作成する必要があると考られる．

4.2.1 隣接行列を用いる場合とトークン伝播を用いる場合の実行時間の比較

ここでは, 経路和行列と非交差経路の組み合わせ数の計算に隣接行列を利用した場合 (Matrix) とトークン伝播 (Token) を利用した場合の実行時間とその比較を記載する．比較は, 実行時間 (Matrix)/ 実行時間 (Token) による高速化倍率を記載している．ネットワークのサイズは頂点数 $N = 333$, 辺数 $M = 511$ であり, multitime コマンドを用いて, 10 回の平均実行時間を計測した．なお, 使用した PC のスペックは次の通りである．デスクトップ PC
OS : Ubuntu 20.04.3 LTS
CPU : Corei7 10700 2.90GHz
メモリ : 16GB
グラフィック : UHD Graphic 630 (CML GT2)
実行時間の結果は以下の通りである．

	大阪	東京	愛知
実行時間 (Token)	0.020	0.010	0.009
実行時間 (Matrix)	293.379	804.002	2237.295
実行時間の高速化倍率	14.6 $\times 10^3$	80.4 $\times 10^3$	248.6 $\times 10^3$

表 4.5: real time の比較 (sec)

	大阪	東京	愛知
実行時間 (Token)	0.018	0.009	0.006
実行時間 (Matrix)	4353.285	12641.144	35155.219
実行時間の高速化倍率	43.5×10^4	140.5×10^4	585.9×10^4

表 4.6: user time の比較 (sec)

	大阪	東京	愛知
実行時間 (Token)	0.002	0.001	0.003
実行時間 (Matrix)	11.271	196.742	548.448
実行時間の高速化倍率	5.6×10^3	196.7×10^3	182.8×10^3

表 4.7: system time の比較 (sec)

4.2.2 今後の課題

今後の課題としては, 詳細な物流データと組み合わせることで, 災害時にどのような物資が不足するかなどの影響の調査を行うことが挙げられる. また, 今回は非交差経路の組み合わせ数の単純な比較のみになってしまっているため, カット前後による非交差経路間の平均経路長の差及び平均コサイン類似度の変化からどれだけ近い経路が減るかなどを調査する等が挙げられる.

第5章　おわりに

本研究では, 石川県への国道ネットワークを平面的・無閉路・有限・有向なネットワークに落とし込むことで, 数理物理の手法である経路和行列の特殊性を利用した手法を用いて非交差経路の組み合わせ数を求め, ネットワークの評価を行った. 今回は, 災害時の影響を調べるために, 主要国道である国道 8 号線及び国道 158 号線が使用不可なった場合で比較を行った. その結果として, 石川県への国道ネットワークは国道 8 号と国道 158 号がそれぞれ使用不可の場合に, 非交差経路の組み合わせ数が 0 になる地方が存在し, 物流への影響が大きく表れることが分かった. 特に, 物流が 2 本の国道に大きく依存している以上, 破損を想定し, 代替路を構築する必要性を明らかに出来たと考える.
一方で, 本研究では, 非交差経路の組み合わせ数の減少によってどのような経路が減ったのか等について考える余地がある. 非交差経路の組み合わせ数からのみでは, 経路自体の特徴や変化を捉えることが難しいため, 非交差経路の組み合わせ数のほかに経路の特徴を捉えるような評価手法についても考える余地がある.

謝辞

本研究を進めるにあたり，林幸雄教授からは多大な助言を賜りました．厚く感謝申し上げます．また，時として相談に乗っていただいた研究室の皆様にも感謝の意を表します．

参考文献

[1] yahoo 災害カレンダー, 北陸豪雪 (2018 年 2 月 6 日), https://typhoon.yahoo.co.jp/weather/calendar/386/, (参照 2023/01/26)

[2] yahoo 災害カレンダー, 冬型の気圧配置による大雪 (2020 年 12 月 16 日), https://typhoon.yahoo.co.jp/weather/calendar/402/, (参照 2023/01/26)

[3] 国土技術研究センター, 熊本地震による被災及び復旧状況, pp.7 (2016)

[4] 国土交通省 北陸地方整備局 港湾空港部, 「北陸港湾ビジョン」検討にあたっての現状分析, pp.6 (2020)

[5] 国土交通省, 第 10 回 2015 年調査 全国貨物準流動調査 (物流センサス), pp.9 (2017)

[6] 高崎 金久, 経路和行列の全非負性, 線形代数とネットワーク, pp.122-134, 日本評論社 (2017)

[7] Hayashi, Y., and Tanaka, A., Practical counting of substitutive paths on a planar infrastructure network, Scientific Reports, 12, 1, pp.14673, (2022)

[8] 国土交通省, GIS ホームページ, https://nlftp.mlit.go.jp/index.html, (参照 2023/01/26)

[9] Wikipedia, 酷道, https://ja.wikipedia.org/wiki/酷道, (参照 2023/01/26)

[10] Vlado, B., and Andrej, M., Networks/Pajek, http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/, (参照 2023/01/27)

[11] 浅井 建爾, 誰かに教えたくなる道路の話, SB クリエイティブ株式会社 (2018)

[12] Skandera, M., Introductory Notes on Total Positivity (2003)

[13] 清水 康史, GLOBAL MAPPLE 日本地図帳, 昭文社 (2022)

[14] QGIS Development Team, QGIS プロジェクトへようこそ!, https://qgis.org/ja/site/, (参照 2023/01/28)

付 録A　主要国道の各1辺のみをカットした場合の非交差経路の組み合わせ数

ここでは, 主要国道を1辺ずつカットし, 非交差経路の組み合わせ数に与える変化を調べる. 各図の対象となる赤い辺を番号順にカットし, 非交差経路の組み合わせ数を求めたものを表にまとめる.

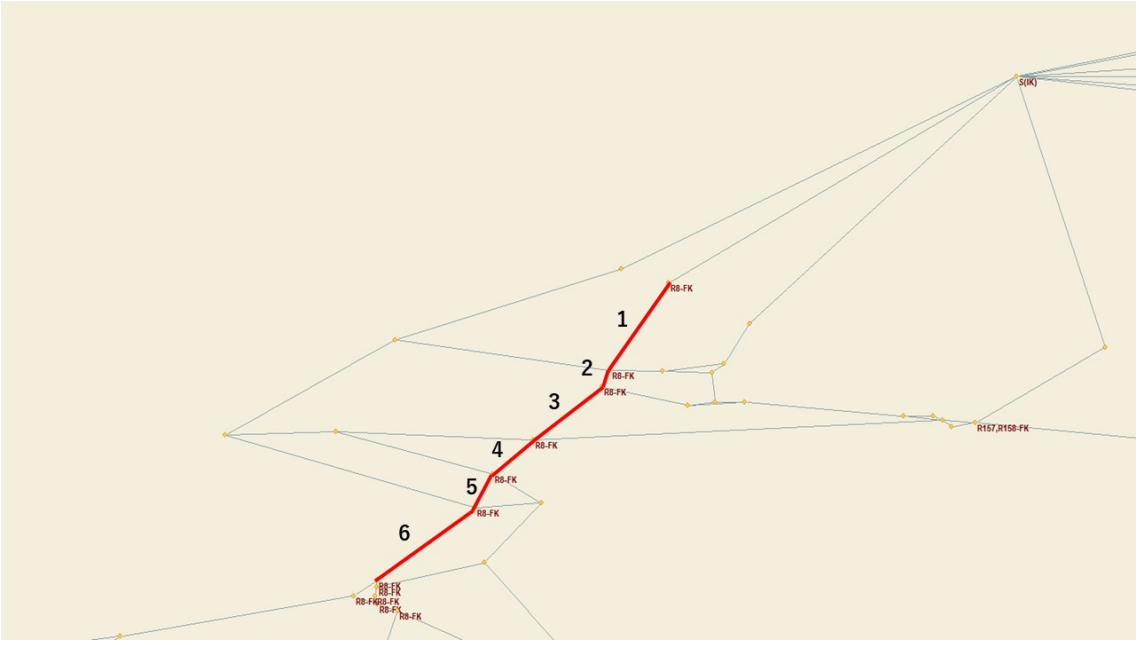


図 A.1: 国道8号をカットする場合 (福井県内)

カット辺 1	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 3050490	123596 → 5612	539832 → 401340
カット辺 2	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 1460364	123596 → 44940	539832 → 338808
カット辺 3	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 1460364	123596 → 123596	539832 → 366576
カット辺 4	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 2609321	123596 → 123596	539832 → 290784
カット辺 5	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 2916242	123596 → 123596	539832 → 426924
カット辺 6	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 596640	123596 → 123596	539832 → 284124

表 A.1: 国道 8 号をカットする場合 (福井県内)

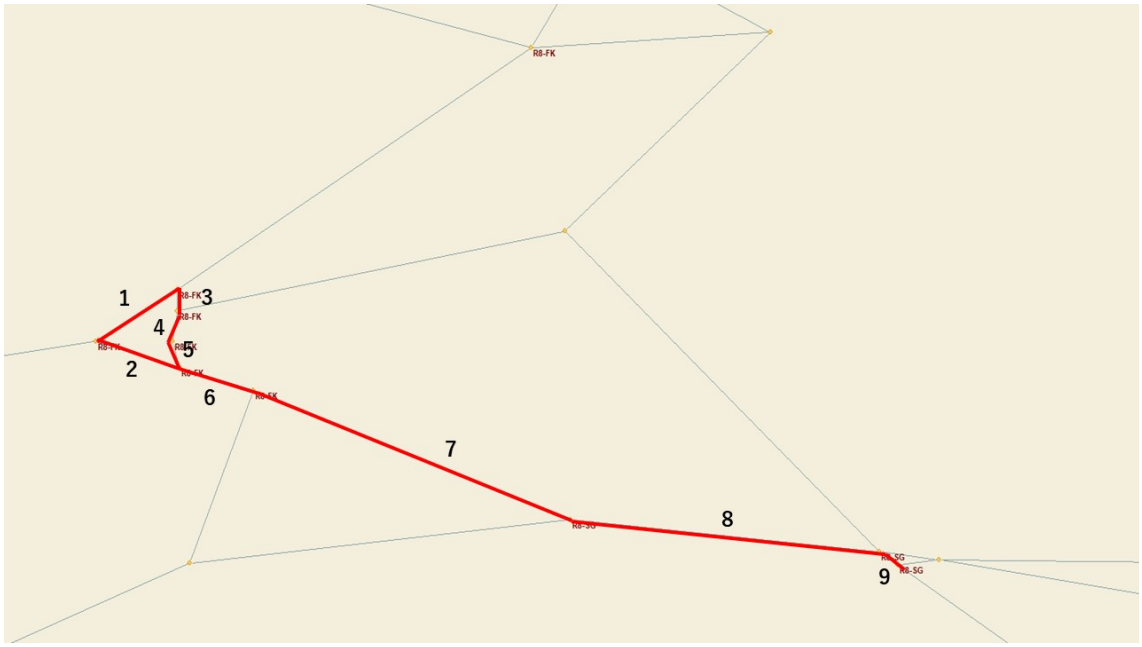


図 A.2: 国道 8 号をカットする場合 (福井-滋賀県境)

カット辺 1	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 1832040	123596 → 123596	539832 → 411978
カット辺 2	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 123596	539832 → 539832
カット辺 3	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 2832042	123596 → 123596	539832 → 411978
カット辺 4	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 2421182	123596 → 123596	539832 → 355524
カット辺 5	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 2421182	123596 → 123596	539832 → 355524
カット辺 6	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 1185782	123596 → 123596	539832 → 227670
カット辺 7	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 2626612	123596 → 123596	539832 → 227670
カット辺 8	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 3874012	123596 → 123596	539832 → 227670
カット辺 9	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 3594690	123596 → 123596	539832 → 454552

表 A.2: 国道 8 号をカットする場合 (福井-滋賀県境)

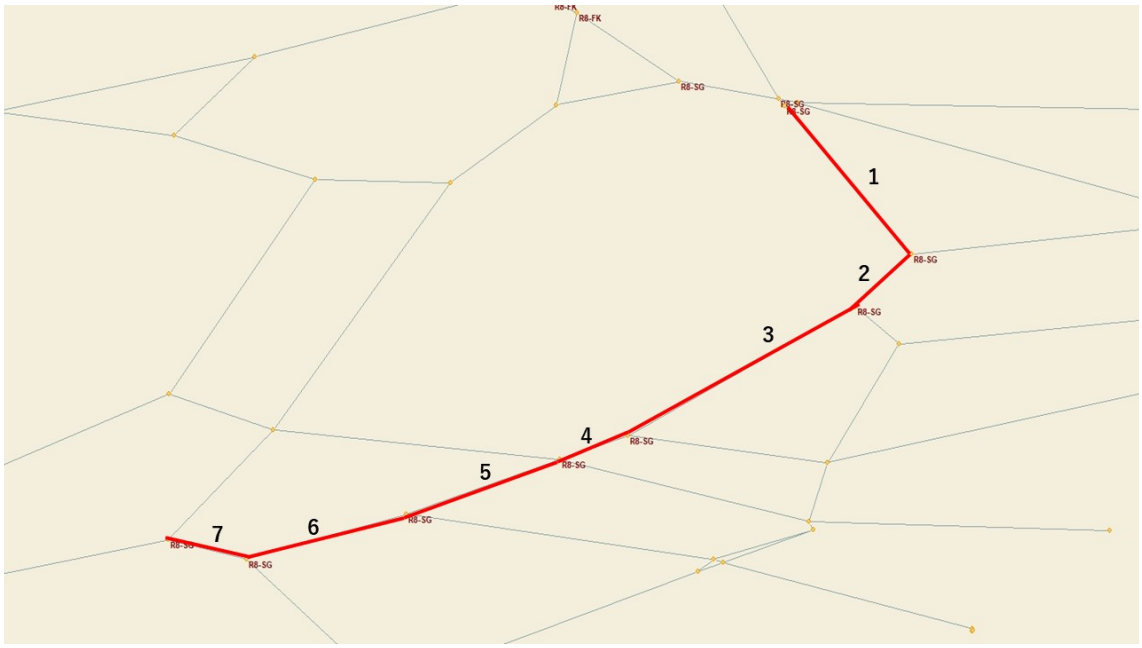


図 A.3: 国道 8 号をカットする場合 (滋賀県内)

カット辺 1	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 3119490	123596 → 123596	539832 → 369272
カット辺 2	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 553410	123596 → 123596	539832 → 369272
カット辺 3	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 2768174	123596 → 123596	539832 → 454552
カット辺 4	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 1159306	123596 → 123596	539832 → 539832
カット辺 5	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 3550654	123596 → 123596	539832 → 539832
カット辺 6	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 2745952	123596 → 123596	539832 → 539832
カット辺 7	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 123596	539832 → 539832

表 A.3: 国道 8 号をカットする場合 (滋賀県内)

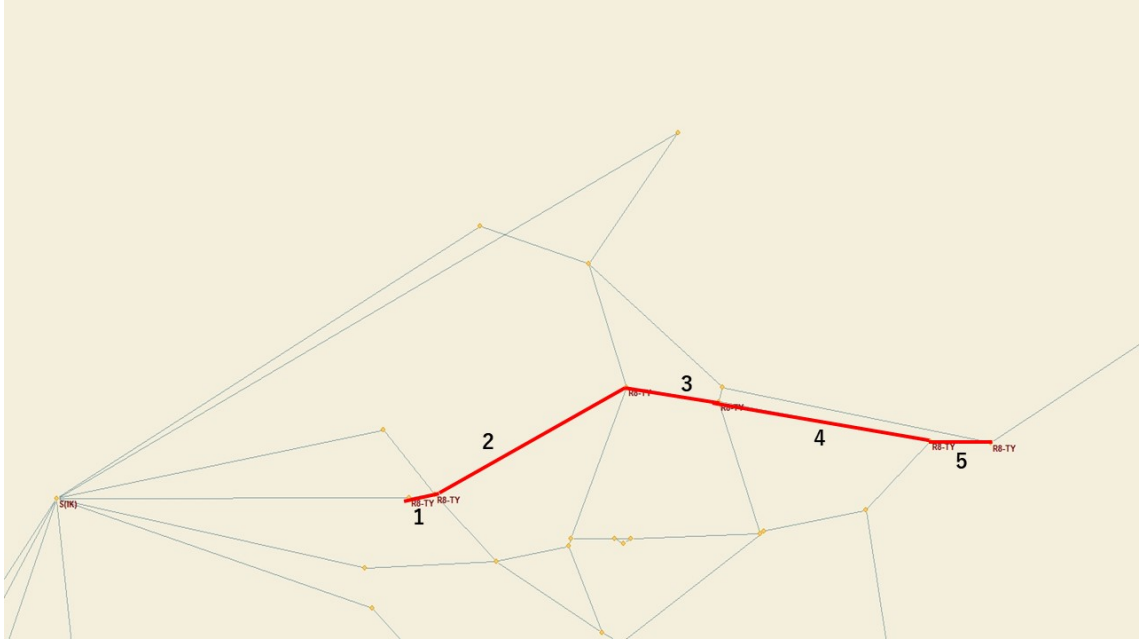


図 A.4: 国道 8 号をカットする場合 (富山県内)

カット辺 1	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 92460	539832 → 515922
カット辺 2	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 3254466	123596 → 93116	539832 → 512964
カット辺 3	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 2847978	123596 → 77792	539832 → 373272
カット辺 4	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 93980	539832 → 206712
カット辺 5	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 14380	539832 → 539832

表 A.4: 国道 8 号をカットする場合 (富山県内)

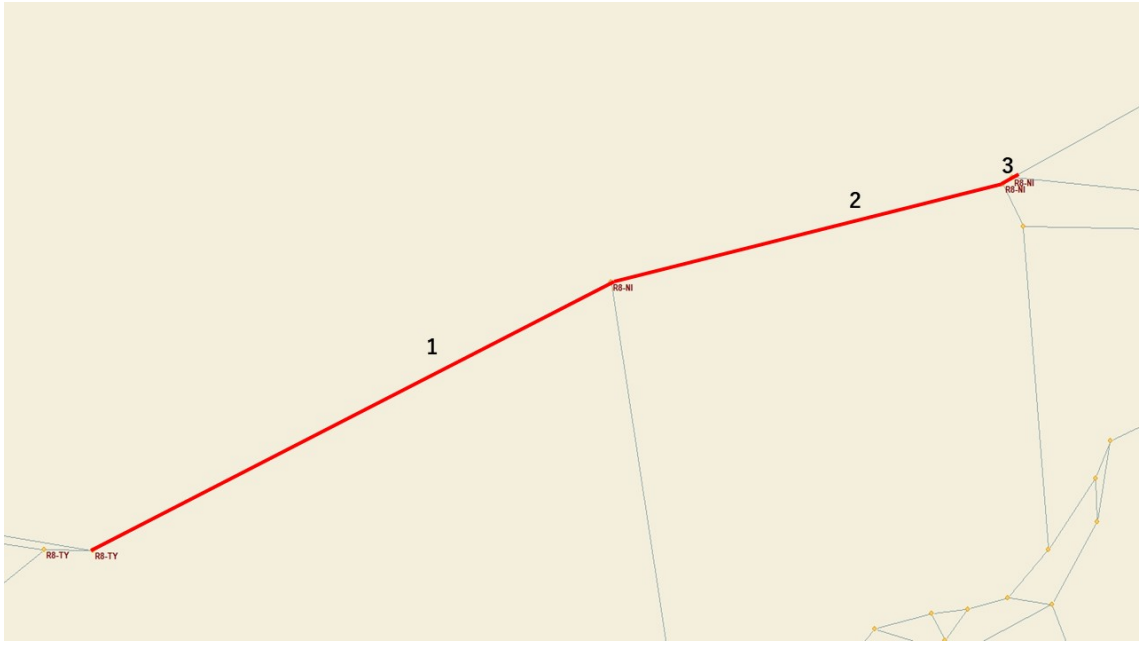


図 A.5: 国道 8 号をカットする場合 (富山-新潟県境)

カット辺 1	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 6864	539832 → 539832
カット辺 2	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 123596	539832 → 539832
カット辺 3	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 123596	539832 → 539832

表 A.5: 国道 8 号をカットする場合 (富山-新潟県境)

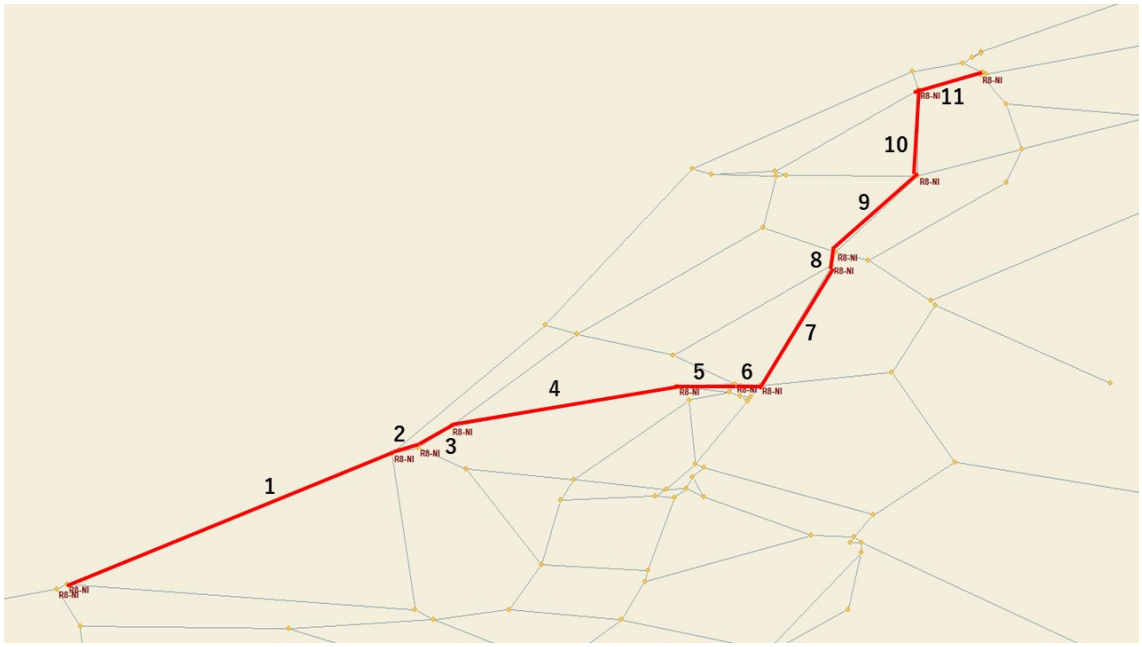


図 A.6: 国道 8 号をカットする場合 (新潟県内)

カット辺 1	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 123596	539832 → 539832
カット辺 2	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 123596	539832 → 539832
カット辺 3	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 123596	539832 → 539832
カット辺 4	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 123596	539832 → 539832
カット辺 5	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 123596	539832 → 539832
カット辺 6	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 123596	539832 → 539832
カット辺 7	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 123596	539832 → 539832
カット辺 8	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 123596	539832 → 539832
カット辺 9	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 123596	539832 → 539832
カット辺 10	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 123596	539832 → 539832
カット辺 11	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 123596	539832 → 539832

表 A.6: 国道 8 号をカットする場合 (新潟県内)

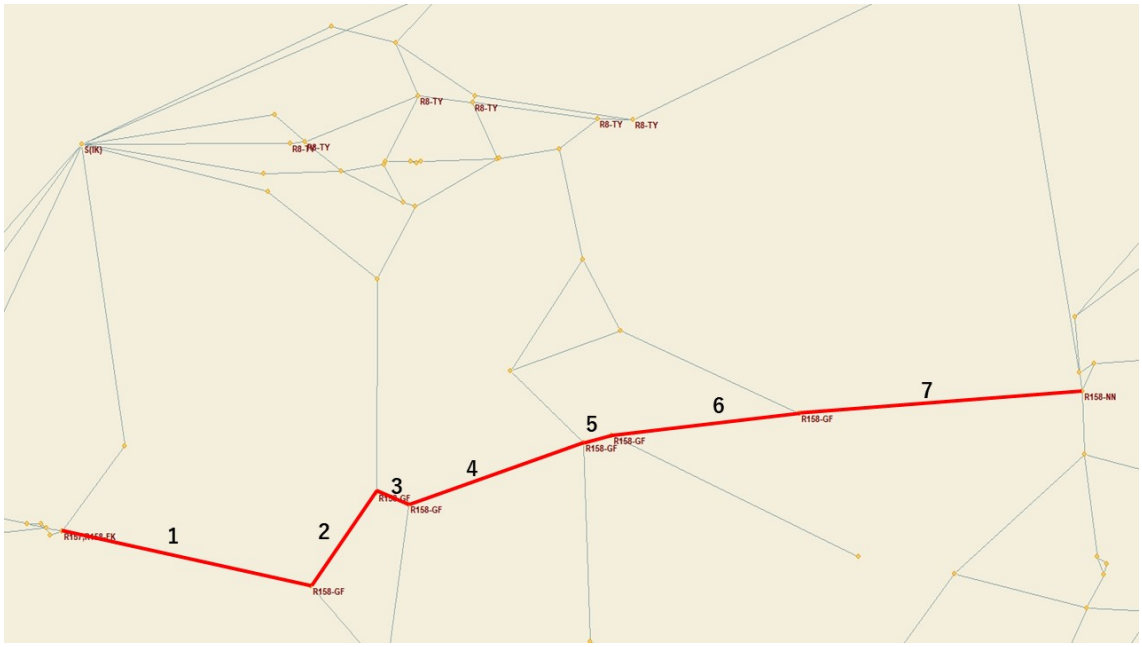


図 A.7: 国道 158 号をカットする場合

カット辺 1	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4052802	123596 → 5612	539832 → 338148
カット辺 2	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 2748322	123596 → 62060	539832 → 439152
カット辺 3	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 1321682	123596 → 56972	539832 → 410532
カット辺 4	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 97332	539832 → 477576
カット辺 5	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 117512	539832 → 539832
カット辺 6	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 117512	539832 → 539832
カット辺 7	大阪	東京	愛知
石川	4067442 → 4067442	123596 → 110124	539832 → 470208

表 A.7: 国道 158 号をカットする場合

付 録B　QGISのマニュアル

ここでは, 本研究で使用したGISのソフトウェアであるQGISの操作マニュアルを記載する.

QGISのマニュアル

目次

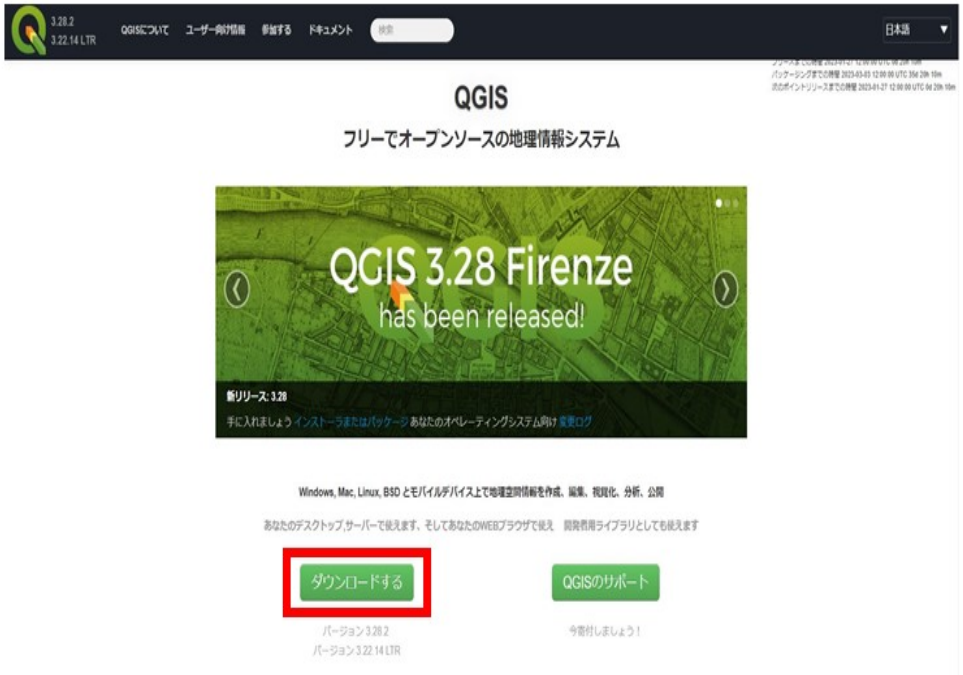
1. QGISのインストール
1-1. インストーラーのダウンロード
1-2. QGISのインストール手順
2. 国土数値情報（GISホームページ）からのデータダウンロード
3. QGISの操作
3-1. QGISの起動
3-2. QGISの画面構成
3-3. データの読み込み
3-4. データの操作(グループ分け・地物の削除・座標の取得・色変更)
3-5. プロジェクトの保存
3-6. プロジェクトの読み込み
3-7. QGISの終了

1. QGISのインストール

・QGISと呼ばれる地理情報システムのインストール手順について記載する. ここでは, Windows版を用いて説明する. 主な手順は以下の通りである.

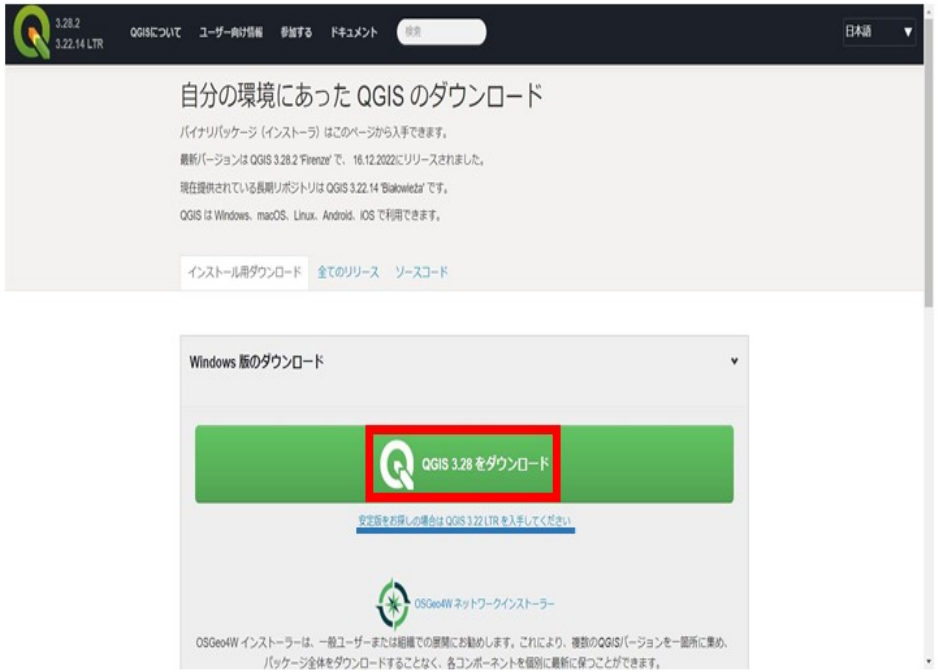
1. QGISのホームページから使用するPCのOSにあったインストール用のファイルをダウンロードする.
2. ダウンロードしたファイルを開き, インストールまでライセンスやインストール先フォルダを進めていく.

1-1. インストーラーのダウンロード



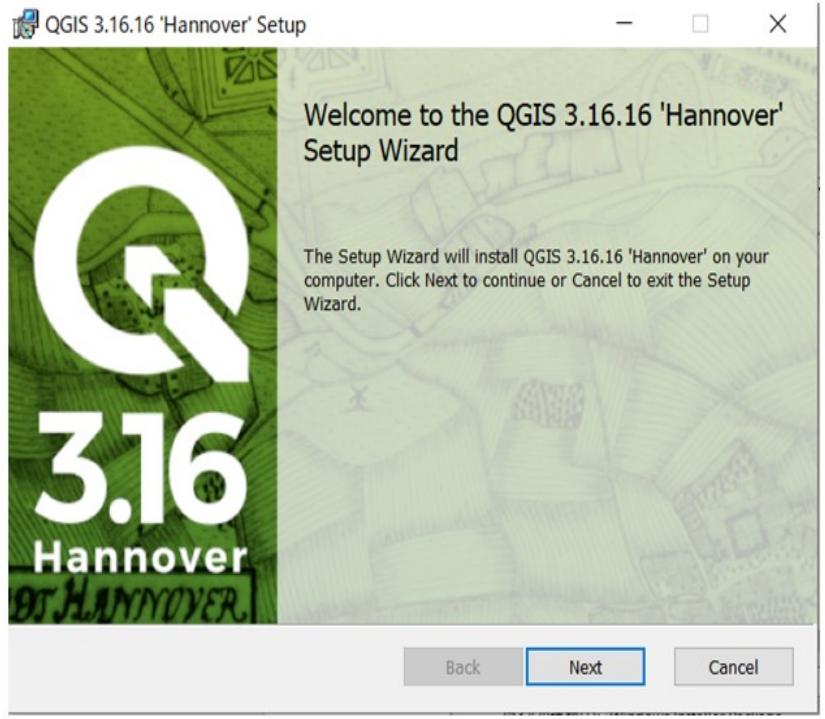
1. QGISのダウンロードページ https://qgis.org/ja/site/index.htmlを開く
2. 画像赤枠の「ダウンロードする」をクリック

1-1. インストーラーのダウンロード



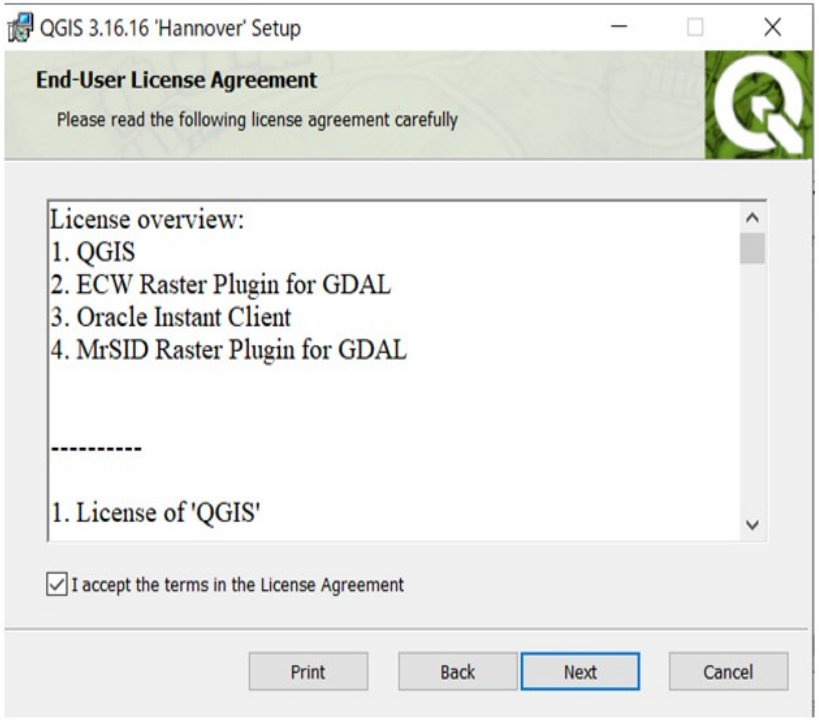
3. 使用するPCのOSにあった
インストーラーをクリックし，
ダウンロードする．（画像赤枠）
このとき，長期リリース版(LTR)の
ものをお勧めする（青線部）

1-2. QGISのインストール手順



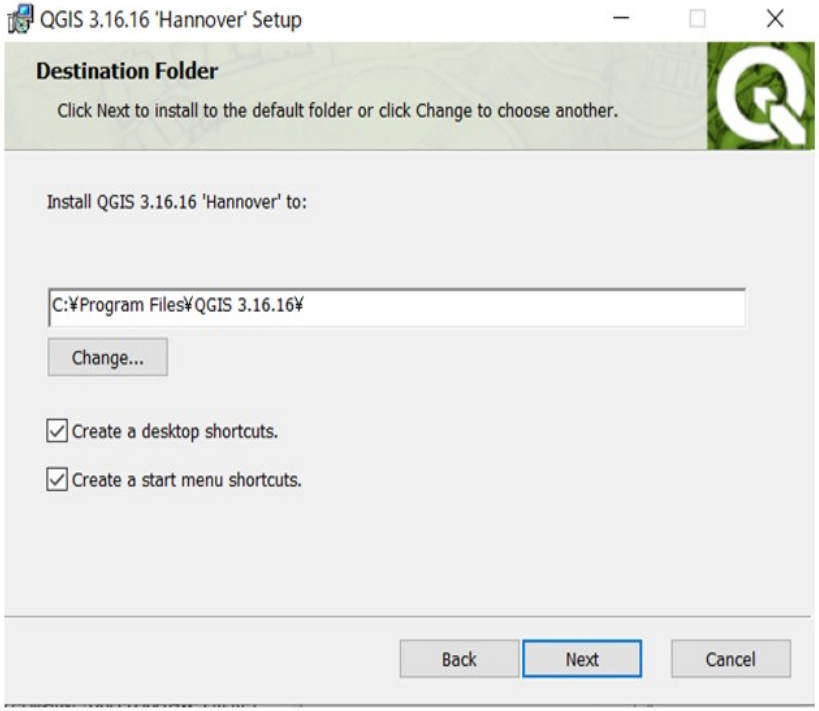
1. ダウンロードしたファイルを開くとQGISのセットアップウィザードが始まるので，「Next」を押す．

1-2. QGISのインストール手順



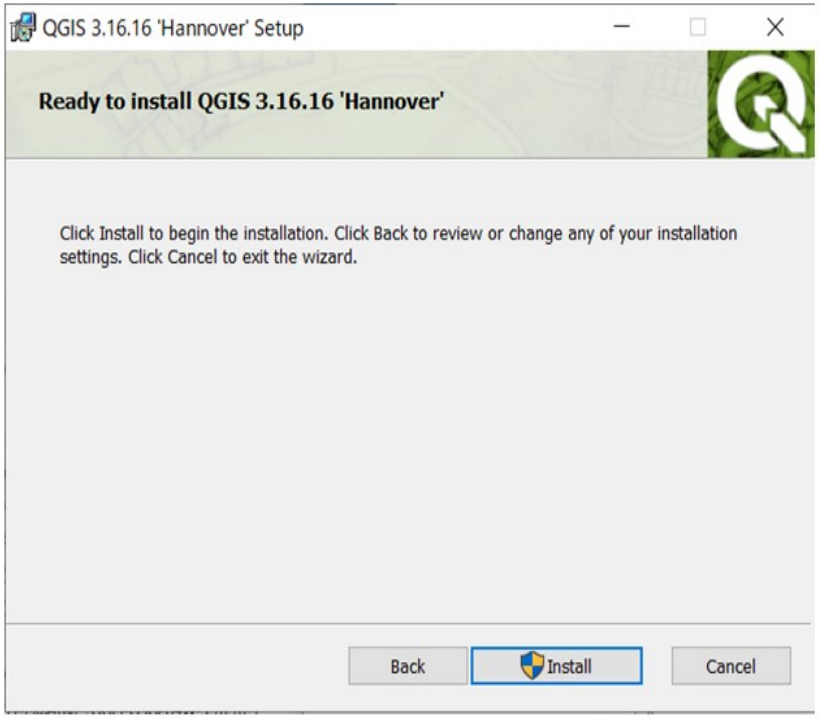
2. ライセンス契約の確認画面が開くので，
内容確認して，チェックボックスを
クリックし，「Next」を押す．

1-2. QGISのインストール手順



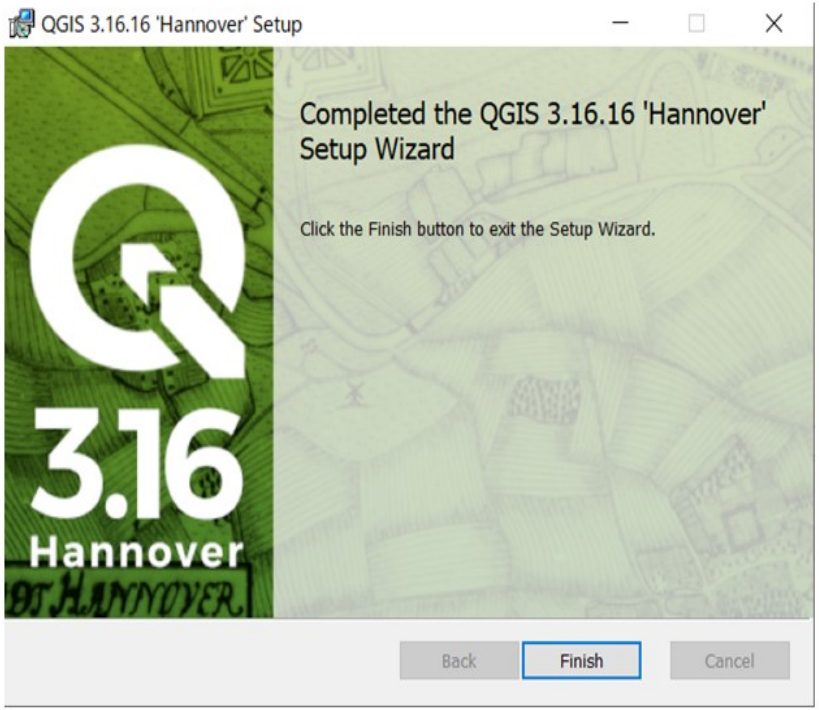
3. インストール先のフォルダ選択画面が開くので, 特に問題がない場合はデフォルトの状態で「Next」を押す.

1-2. QGISのインストール手順



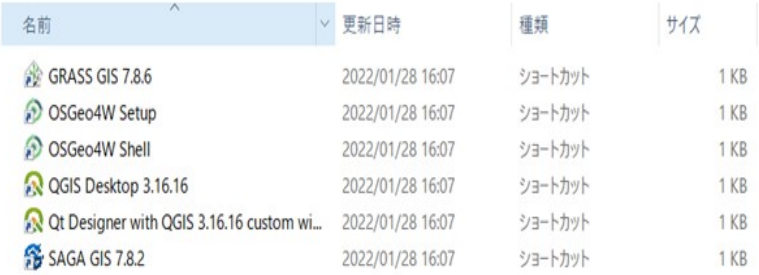
4. インストールの確認画面が開くので，「Next」を押す.
5. ユーザーアカウント制御が変更の許可を求めるので，「はい」を押す.

1-2. QGISのインストール手順



6. インストール完了画面が開くので，
「Finish」を押して閉じる．

1-2. QGISのインストール手順



名前	更新日時	種類	サイズ
GRASS GIS 7.8.6	2022/01/28 16:07	ショートカット	1 KB
OSGeo4W Setup	2022/01/28 16:07	ショートカット	1 KB
OSGeo4W Shell	2022/01/28 16:07	ショートカット	1 KB
QGIS Desktop 3.16.16	2022/01/28 16:07	ショートカット	1 KB
Qt Designer with QGIS 3.16.16 custom wi...	2022/01/28 16:07	ショートカット	1 KB
SAGA GIS 7.8.2	2022/01/28 16:07	ショートカット	1 KB

7. ウィンドウを閉じると，インストールされた バージョン名のフォルダが作成され，ショートカットが格納されている．

2. 国土数値情報（GISホームページ）からのデータダウンロード

国土数値情報は,“国土形成計画、国土利用計画の策定などの国土政策や土地・不動産関連施策の推進などに資するために、地形・土地利用・公共施設などの国土に関する基礎的な情報をGISデータとして整備したもの”である[1].

ここでは,国土数値情報から道路及び行政区域のデータをダウンロードする手順について記載する.

1. GISホームページ（https://nlftp.mlit.go.jp/index.html）から国土数値情報ダウンロードを選択する
2. ダウンロードするファイルの形式を選択する.道路[2]は旧フォーマットのGML,県境などを表す行政区域[3]はJPGIS形式のGMLを選択し,ページから探す.
3. 道路及び行政区域のページで世界測地系のデータを都道府県ごとにダウンロードする.

[1]GISホームページ, https://nlftp.mlit.go.jp/index.html, (参照 2022-03-31)

[2]GISホームページ, https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gmlold/datalist/gmlold_KsjTmplt-N01.html , (参照 2022-03-31)

[3]GISホームページ, https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_0.html , (参照 2022-03-31)

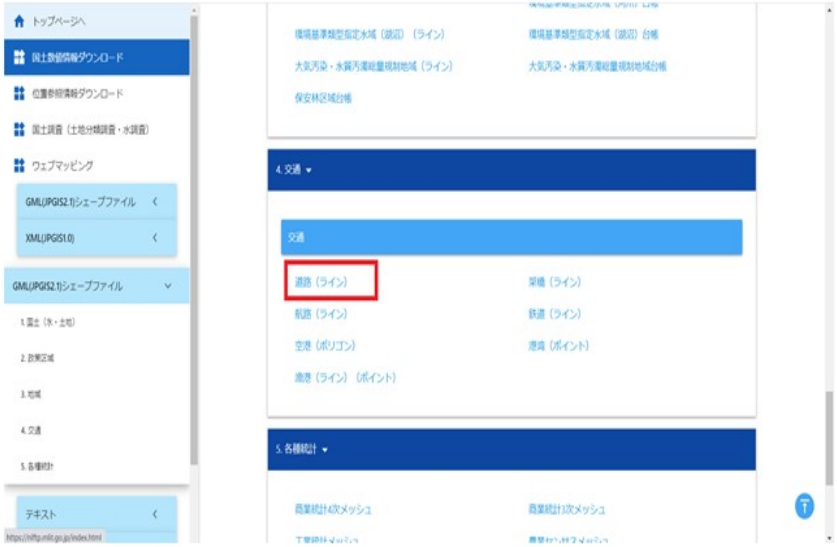
2. 国土数値情報（GISホームページ）からのデータダウンロード

1. GISホームページ（https://nlftp.mlit.go.jp/index.html ）を開く.
2. 画像赤枠の国土数値情報ダウンロードをクリック.

2. 国土数値情報（GISホームページ）からのデータダウンロード

3. 画像赤枠の旧統一フォーマット形式のGMLをクリック.

2. 国土数値情報（GISホームページ）からのデータダウンロード



4. 画像赤枠の道路をクリック.

2. 国土数値情報（GISホームページ）からのデータダウンロード

5. 各都道府県の最新道路データ（世界測地系）をダウンロードする.

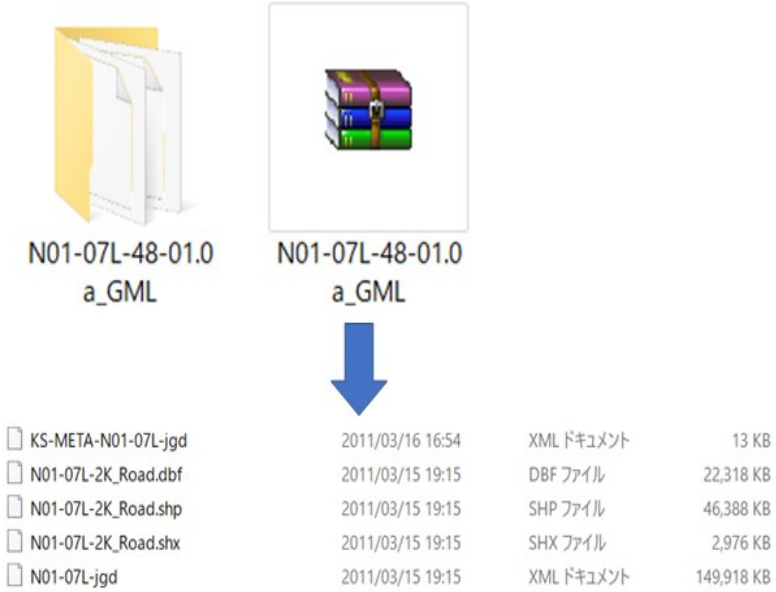
2. 国土数値情報（GISホームページ）からのデータダウンロード

6. 各都道府県の最新行政区域データ（世界測地系）をダウンロードする.

2. 国土数値情報（GISホームページ）からのデータダウンロード

1. データのダウンロードは欲しいデータの赤枠部分をクリック.
2. 画面に確認が出てくるので,
「はい」をクリックするとダウンロードが始まる.

2. 国土数値情報（GISホームページ）からのデータダウンロード

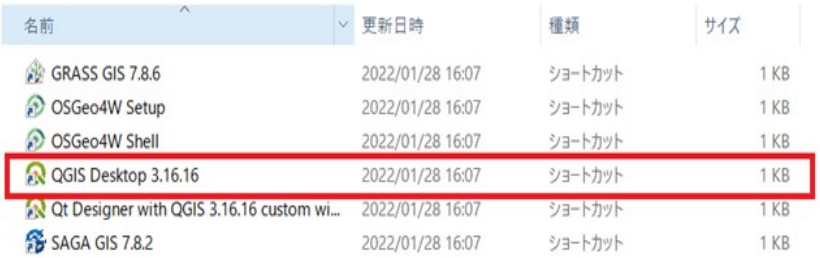


7. ダウンロードしたファイルはzipファイルなので, 解凍を行う(上画像右ファイル).
8. 解凍を行うと.shpなどのファイルが現れる（下画像）.

3. QGISの操作

ここでは, 地理情報システムの1つであるQGISの操作方法に関して説明を行う.

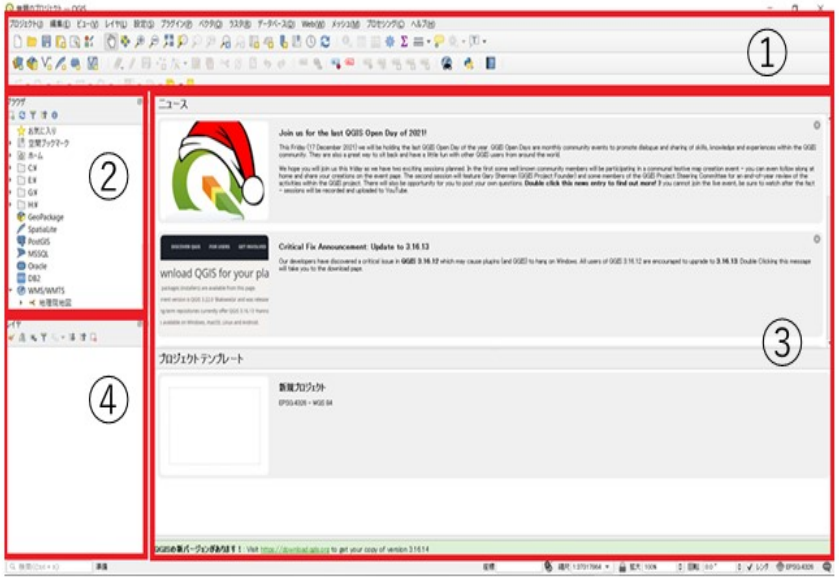
3-1. QGISの起動



名前	更新日時	種類	サイズ
GRASS GIS 7.8.6	2022/01/28 16:07	ショートカット	1 KB
OSGeo4W Setup	2022/01/28 16:07	ショートカット	1 KB
OSGeo4W Shell	2022/01/28 16:07	ショートカット	1 KB
QGIS Desktop 3.16.16	2022/01/28 16:07	ショートカット	1 KB
Qt Designer with QGIS 3.16.16 custom wi...	2022/01/28 16:07	ショートカット	1 KB
SAGA GIS 7.8.2	2022/01/28 16:07	ショートカット	1 KB

1. “1-2 QGISのインストール手順”の手順7で作成されたショートカットから「QGIS Desktop “+バージョン名”」をダブルクリックし, QGISを起動する. 今回は画像赤枠の「QGIS Desktop 3.16.16」

3-2. QGISの画面構成



QGISは起動時, 画像のような構成となっており, 赤枠ごとに異なる役割を持つ.

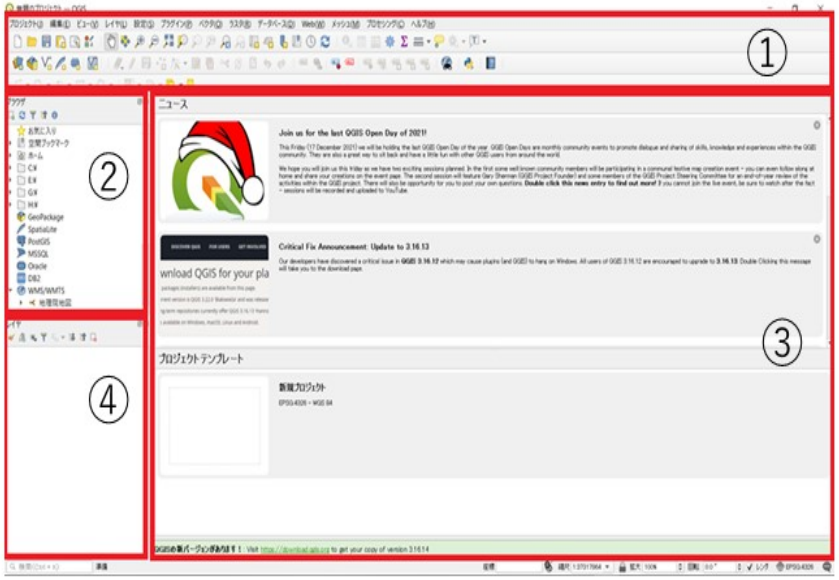
①…ツールバー, QGISで読み込んだ地理データに対して, 地図の拡大・縮小・移動や地図に対する編集を行う際に使用する.

②…ブラウザパネル, QGISに読み込む地図データを指定する時に使用する. URLなどからデータをダウンロードすることも可能.

③…マップ表示部, QGISに読み込んだ地図データが表示される箇所.

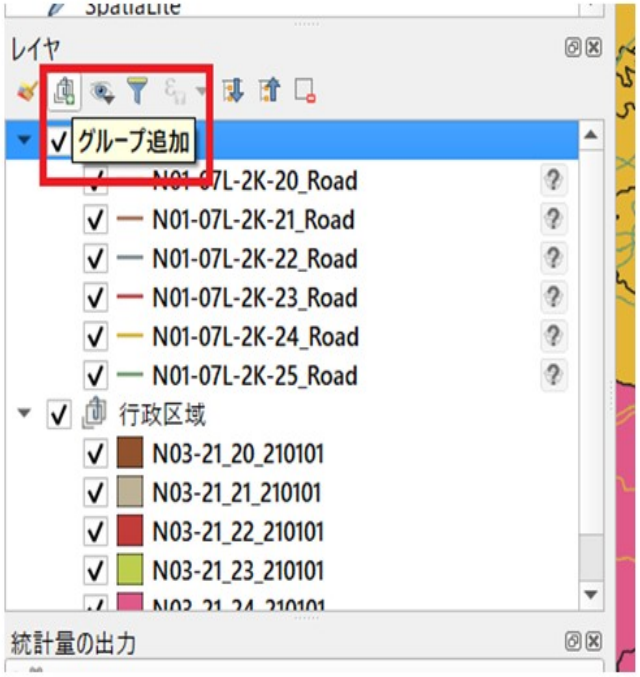
④…レイヤパネル, QGISに読み込んだ地図データのファイル名が一覧で表示される. 読み込んだ地図の表示順を変えたり, 地図データの属性情報などを確認・編集する時に使用する.

3-3. データの読み込み・削除



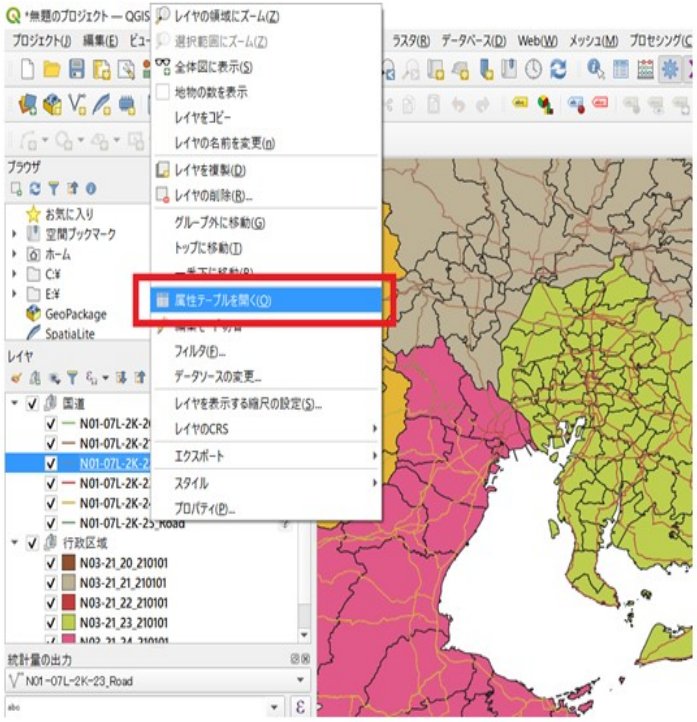
QGISに.shpファイルを読み込ませるには,③のマップ表示部へドラッグ＆ドロップを行う.
読み込ませたデータは④のレイヤパネルに表示される.レイヤパネルのデータを右クリックし,「レイヤの削除」を押すことで,データを削除することができる.

3-4. データの操作(グループ分け)



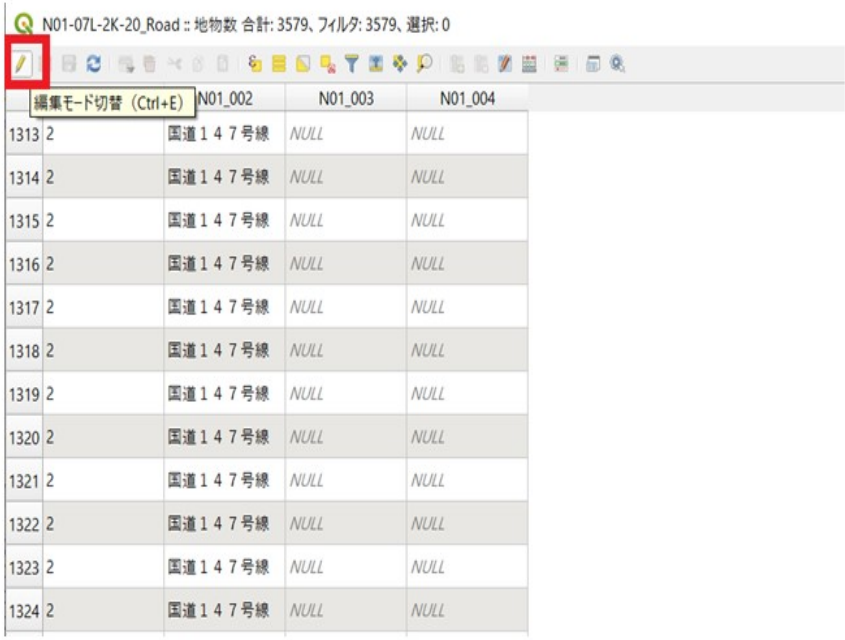
レイヤパネルの上部のツールバーから「グループ追加」をクリックすると，空のグループフォルダがレイヤパネルに追加される．
グループ名を国道や行政区域に変更し，データをドラッグ＆ドロップでグループ内にまとめることで，表示優先度を一括で扱うことが可能となる．
国道のグループを行政区域のグループより下に置いた場合，表示優先度の関係で見れなくなってしまう．

3-4. データの操作(地物の削除)



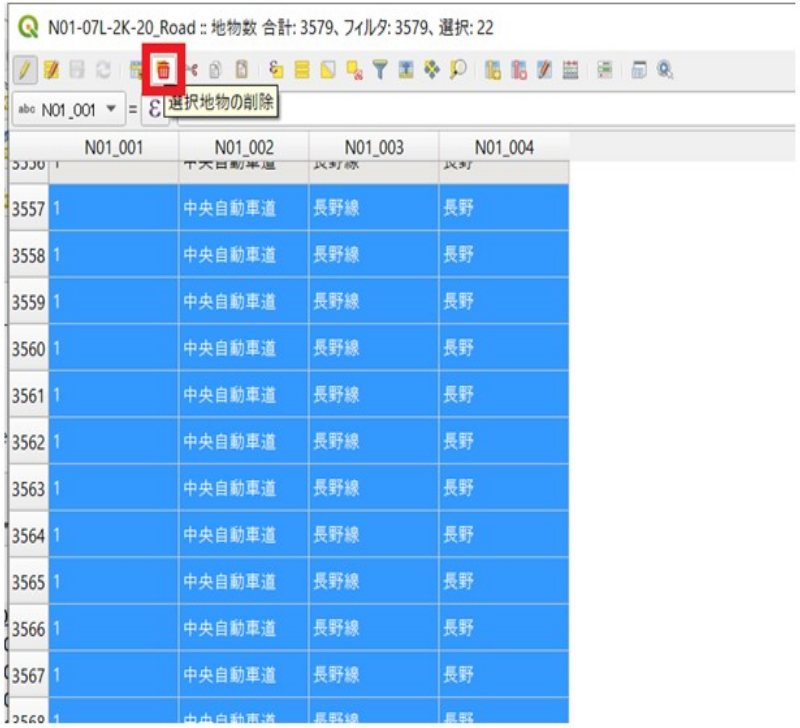
1. 属性テーブルを開く.

3-4. データの操作(地物の削除)



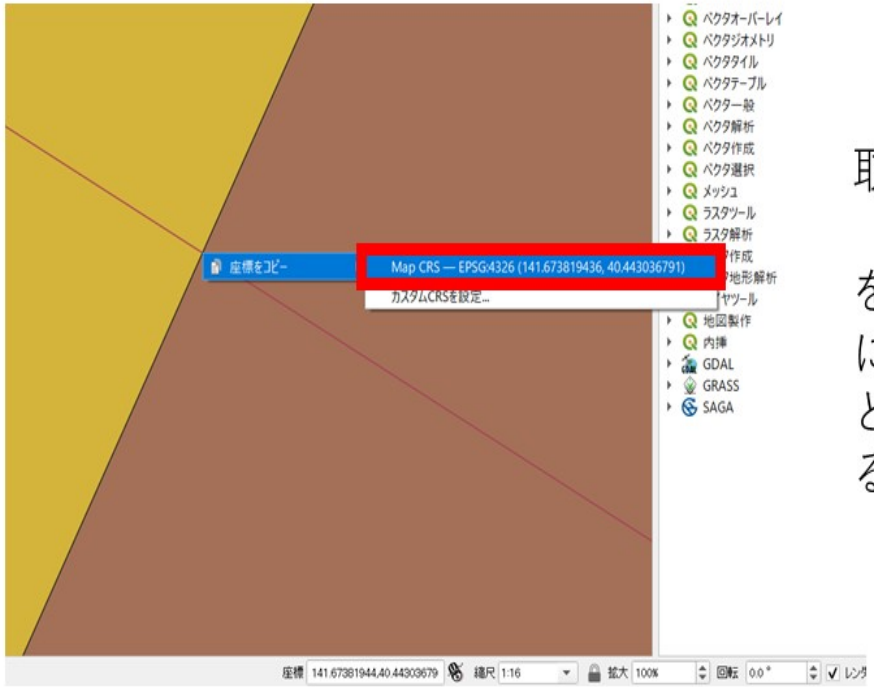
2. 開いた属性テーブルを編集モードに切り替える.

3-4. データの操作(地物の削除)



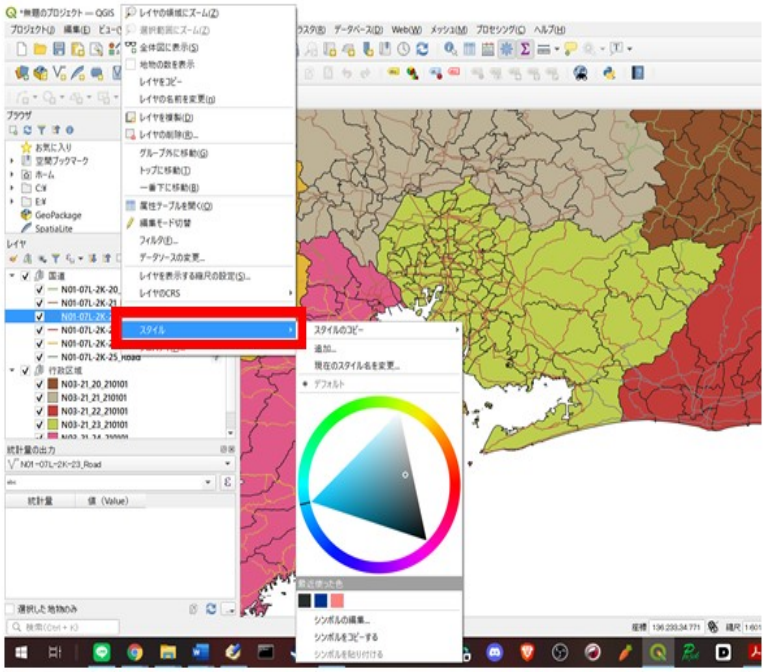
3. 削除したい地物を選択し，選択地物の削除をクリックする．

3-4. データの操作(座標の取得)



取得したいポイントを右クリックし、「Map CRS-EPSG~(x, y)」(画像赤枠)を選択するとx,y座標をクリップボードにコピーする. Ctrl+Vなどでテキストとして、コピーした座標をペーストすることが可能である.

3-4. データの操作(色の変更)



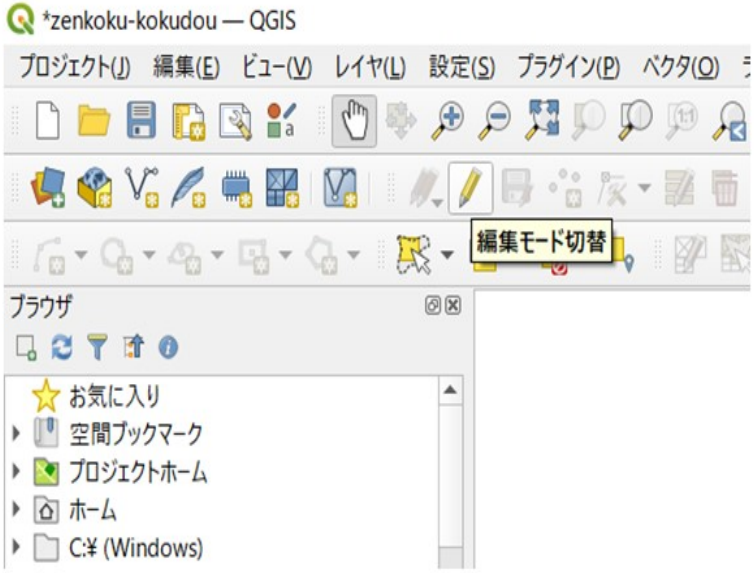
目的のレイヤが見えにくい時は, 色の変更をしたいデータを右クリックし, 「スタイル」(画像赤枠)を選択すると, 色の変更などが行える.

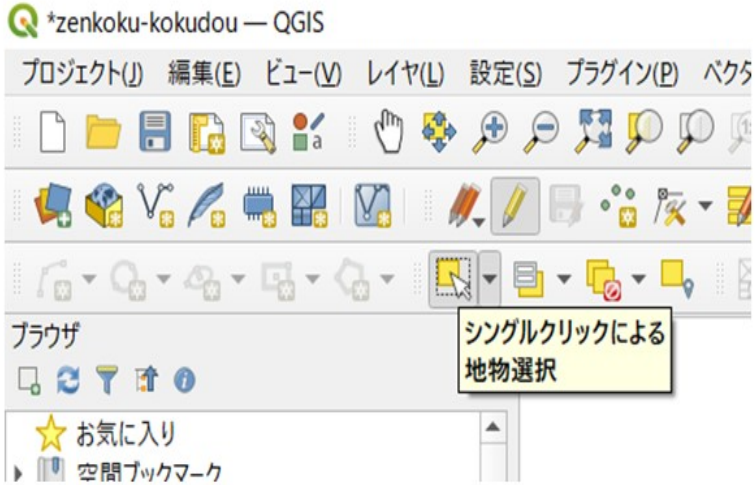
頂点データの整理

- ここでは，不要な頂点データの整理方法を記載する．

1. 整理する頂点データのレイヤーを選択し，編集モードに切り替える．

2. シングルクリックによる地物選択をクリックすると，マップ表示部で地物の範囲選択が可能になる．

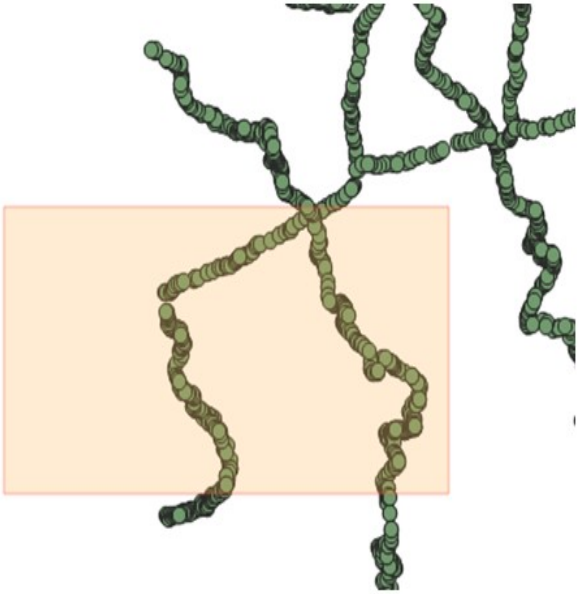


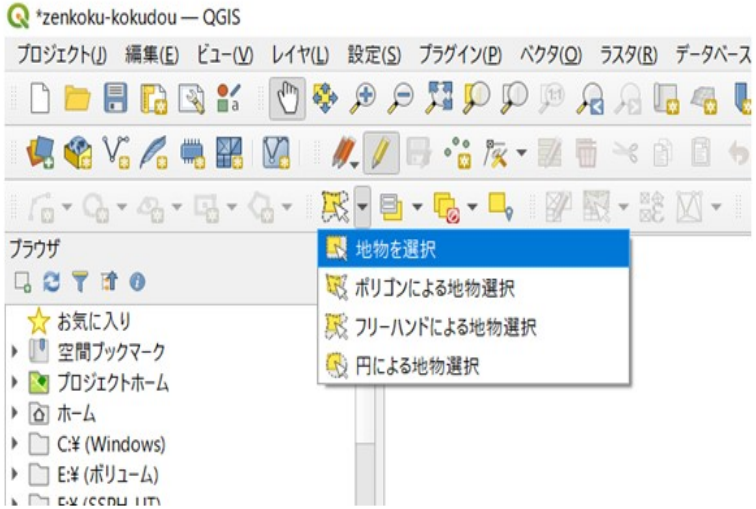


頂点データの整理

3. 地物選択の右隣にある下向き三角をクリックすることで，範囲選択の方法が4つのうちから選べる．

「地物を選択」は，ドラッグによる矩形選択である

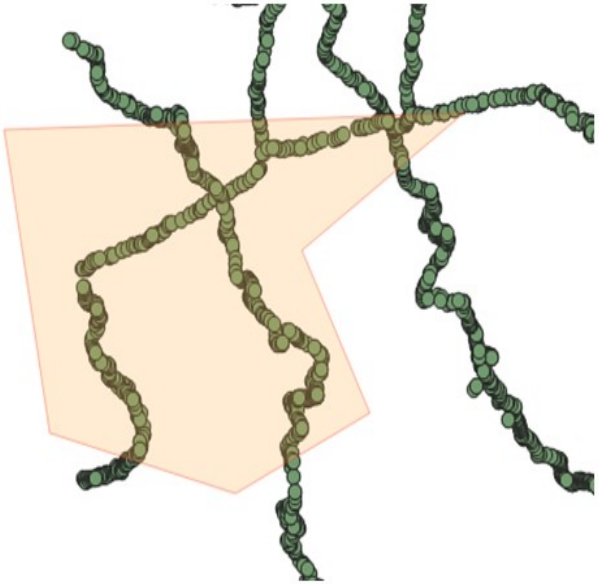




頂点データの整理

「ポリゴンによる地物選択」は,クリックした箇所を頂点とし,右クリックするまで範囲を選ぶことが可能である.

「フリーハンドによる地物選択」は,開始地点クリックしてからもう一度クリックするまでのカーソルの軌跡で範囲を決める.



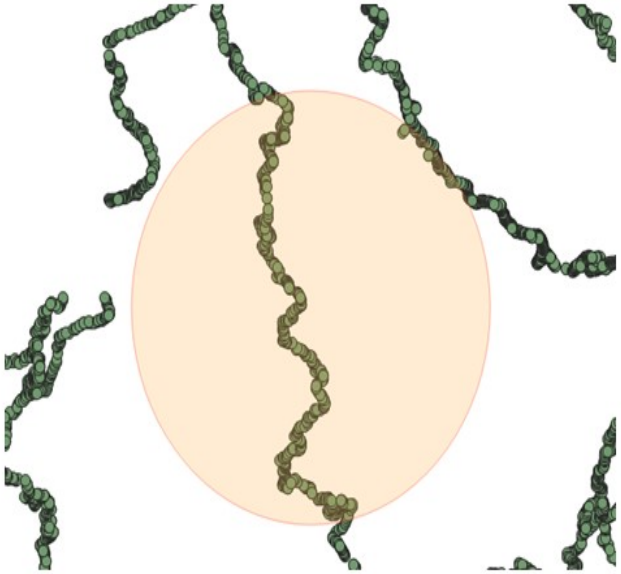
ポリゴンによる地物選択

フリーハンドによる地物選択

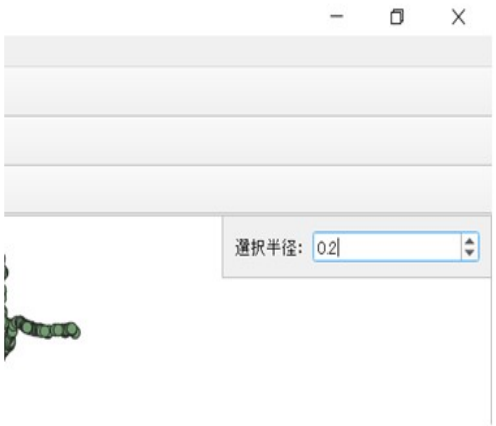
頂点データの整理

「円による地物選択」は,クリックした箇所を中心とし,クリックする箇所までの距離を半径として範囲を選ぶことが可能である.

また,マップ表示部右上に選択半径の表示場所があるので,その値を変更することで半径を変えることが可能である.



円による地物選択

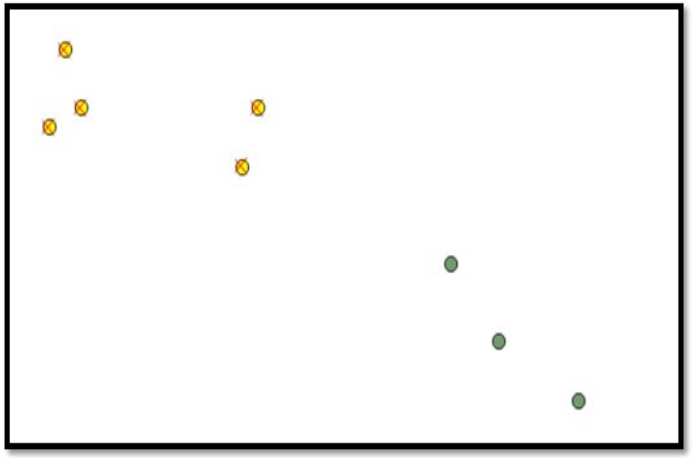


選択半径表示部

頂点データの整理

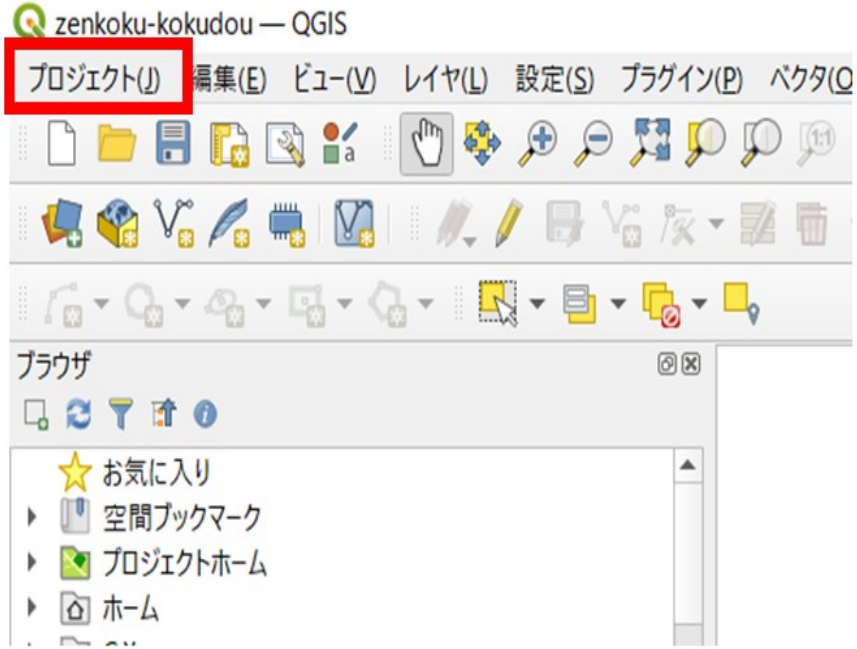
4. 選択された地物は黄色で表示される. 選択された地物は, ツールバーの「選択物の削除」から削除することが可能である.

5. 再び編集モードを切り替える際に保存するかどうかを聞かれる. 削除だけでは変更が保存されないため注意が必要である.



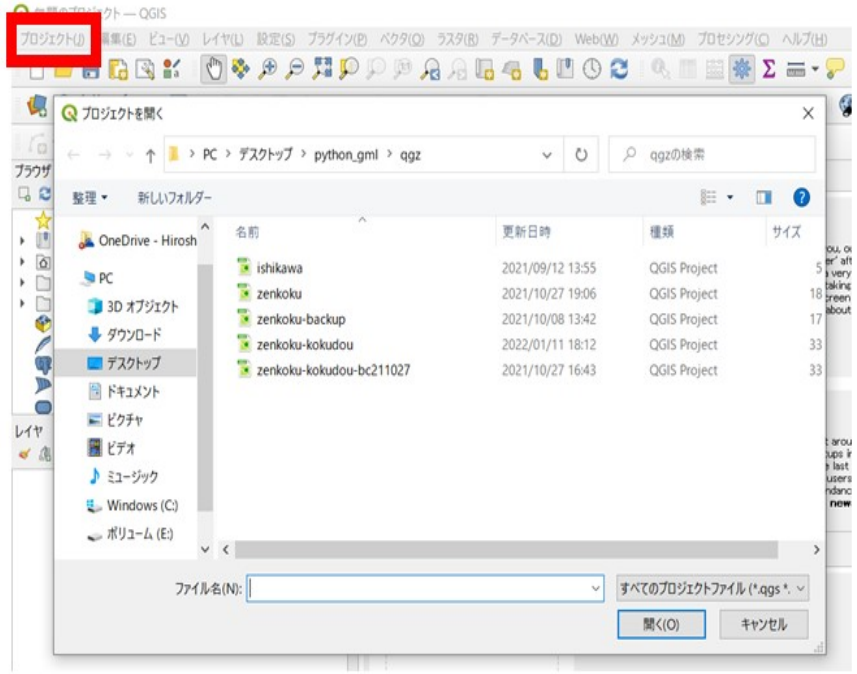
地物選択時

3-5. プロジェクトの保存



1. プロジェクト(画像赤枠) を開き，中から「名前を付けて保存」を選択する.
2. ファイルの保存場所とファイル名を書いて，「保存」を押す.

3-6. プロジェクトの読み込み



1. 「プロジェクト」（画像赤枠）開き，中にある「開く」を選択する．
2. 「プロジェクトを開く」ウインドウで開きたいプロジェクトのファイルを選択し，「開く」を押す．

3-7. QGISの終了

1. QGISの画面右上の×ボタンを押す.
2. 未保存のデータが存在する場合は,
   左図のウインドウが現れる.
3. 保存する場合は「保存」,
   保存しない場合は「変更を破棄」,
   閉じない場合は「キャンセル」を
   選択する.