

2014年度 卒業論文

街路樹の植栽パターンを考慮した
仮想都市における街路樹の自動植栽に関する研究

指導教員：渡辺 大地 講師
三上 浩司 准教授

メディア学部 ゲームサイエンス プロジェクト
学籍番号 M0111257
高橋 明広

2014年度 卒業論文概要

論文題目

街路樹の植栽パターンを考慮した
仮想都市における街路樹の自動植栽に関する研究

メディア学部

学籍番号：M0111257

氏名

高橋 明広

指導
教員

渡辺 大地 講師
三上 浩司 准教授

キーワード

街路樹, 自動植栽, 仮想都市, 景観生成, シミュレーション

近年、テレビゲームやアニメーション、都市シミュレーションなどにおいて、3DCGによって制作された建築物によって形成した都市が、登場する場面が多くなっている。それにともない都市生成の効率化を図る研究や、時代に合わせた都市を生成する研究、航空写真を使った、現実に存在する都市を生成する研究などさまざまな研究が行われている。これらの研究において対象とするのは、道の生成規則を対象にする研究や、建造物の制作手法を対象とする研究が多い。

しかし、これらの研究では、都市空間を構成する要素である街路樹の植栽に関して、無作為な植栽を行っており、現実的な植栽を行うための手法について着目していない。街路樹には、街路樹自体が道路の装飾物となり景観の向上を行う景観機能や、自動車等の騒音に対する障壁となる機能である生活環境保護機能、交通の際の視線を誘導する交通安全機能などが存在する。そして、その効果を発揮する為に国や地方自治体が、街路樹の植栽条件について法令を決めている。

そこで本研究は、日本の植栽規則にしたがい、都市自動生成における街路樹の自動植栽を行う手法を提案した。本手法は、道幅や道の長さによる道路の形状や、各道路同士の接続条件などを考慮し、街路樹の植栽に最適なパターンを自動で決定することで、植栽を行う。本研究は生成した街路樹の植栽パターンが、それぞれ植栽規則を踏まえた形になっているのか、現実の植栽画像と、従来のツールの実行画像、本ツールの実行画像の比較を行うことで検証した。その結果、中央分離帯などの植栽に対して、従来のツールよりも、より日本の植栽規則にしたがった形で植栽を行うことができた。また、環境設置帯や、交通島などの特徴的な植栽パターンの形成を行うことができ、従来のツールでは作成できない植栽パターンも生成可能になった。以上の結果から、本ツールが有用であることがわかった。

目次

第1章	はじめに	1
1.1	研究背景と目的	1
1.2	本文の構成	3
第2章	街路樹の植栽	4
2.1	用語の定義	5
2.2	街路樹の機能	6
2.3	樹形のタイプ	6
2.4	樹種の選定	7
2.5	歩道植栽	9
2.6	中央分離帯	11
2.7	交差点	12
2.8	交通島	12
2.9	環境施設帯	14
第3章	提案手法	15
3.1	本ツールを用いて街路樹の植栽を実現する流れ	15
3.2	道路網の生成手法	16
3.3	植栽パターンの決定の流れ	17
3.3.1	道路の接続条件による植栽パターンの決定	17
3.3.2	道路形状による植栽パターンの決定	19
第4章	検証	22
4.1	都市全体	22
4.2	一般道	25
4.3	中央分離帯	26
4.4	交差点	28
4.5	交通島	29
4.6	環境施設帯	30
第5章	考察と展望	31

第6章 終わりに	33
謝辞	34
参考文献	35

目 次

2.1	樹形と造形比	7
2.2	中央分離帯の配置例	11
2.3	交通島における植栽地点の例	13
3.1	実行の流れを表すフローチャート	16
3.2	植栽パターン決定のフローチャート	17
3.3	交通島の植栽ポイント	19
3.4	本ツールの基本パラメーター	20
4.1	GoogleErath による江戸川区の航空写真 ©ZENRIN,©Google	23
4.2	CityEngine による都市全体の実行例	23
4.3	本ツールによる都市全体の実行例	24
4.4	CityEngine による 都市全体の拡大図	25
4.5	本ツールによる 都市全体の拡大図	25
4.6	GoogleErath による 一般道植栽の例 ©ZENRIN,©Google	25
4.7	CityEngine による 一般道植栽の実行例	25
4.8	本ツールによる一般道植栽の実行例	26
4.9	GoogleErath による 中央分離帯の植栽例 ©Google,©ZENRIN US Dept of State Geogrpher	27
4.10	CityEngine による 中央分離帯植栽の実行例	27
	27

4.11 本ツールによる中央分離帯の 実行例	27
4.12 本ツールによる中央分離帯の 実行例の拡大図	27
4.13 GoogleErath による 交差点の植栽例 ©ZENRIN	28
4.14 CityEngine による 交差点植栽の実行例	28
4.15 本ツールによる交差点植栽の実行例	28
4.16 GoogleErath による 交通島の植栽例 ©Google,©ZENRIN	29
4.17 本ツールによる交通島の実行例	29
4.18 本ツールによる交通島の実行例の 拡大図	29
4.19 GoogleErath による 環境施設帯の植栽例 ©Google,©ZENRIN	30
4.20 本ツールによる 環境施設帯の実行例	30

第 1 章

はじめに

1.1 研究背景と目的

近年、テレビゲームや、アニメーション、都市シミュレーションなどにおいて、3次元コンピュータグラフィックス（以下3DCGとする）で制作した建築物によって形成した都市を利用する場面が増加傾向にある。しかし、それらを制作する作業は簡単なものではなく、膨大な時間を要する。また、近年では都市生成の研究は盛んに行われている。PascalMullerら[1]は、建物形成の効率化を図る研究を行った。また、満福ら[2]は、江戸時代の京都の町並みを、当時の町の図面をもとに3DCGによる仮想都市の再現を行った。さらに、目時ら[3]は、江戸時代の日本集落の特徴を持った町並みの再現を行った。また現実に存在する都市の生成に関する研究として、杉原ら[4]は、GISデータを利用した都市の生成方法の実現を行った。そして、吉田ら[5]は道路によって区切られた区画を最小単位とし、その区間の利用変化をシミュレーションすることで、時間経過をともなった、都市の自動生成について研究を行った。これらの研究が対象としているのは、道の生成規則や、建造物の制作手法、既存の都市を対象とする研究である。しかし、それらの研究では、都市空間を構成する要素である街路樹の植栽に関して、無作為な植栽を行っており、現実的な植栽を行うための手法について着目していない。

街路樹は、街路樹自体が道路の装飾物となり景観の向上を行う景観機能や、自動車等の騒音に対する障壁となる機能である生活環境保護機能、交通の際の視線

を誘導する交通安全機能などを有している。仲島ら [6] は、街路樹の持つ緑陰形成機能に着目し、仮想街路における樹木の日影のシミュレーションを行った。そしてその結果にもとづき、熱環境改善と大阪市内街路の緑化優先箇所の選定に向けたガイドライン生成を行った。また、瀬田らは [7] は、街路における基本形態構成物の面的要素と立体的要素に着目し、ゆらぎ理論によって街路の魅力を明確化する研究を行った。その結果、街路樹と建物の形状や大きさによって都市景観に乱雑性と整然性をもった街路を作ることができるようになった。さらに高柳 [8] は街路樹によって形成される緑陰を都市部繁華街に置いた場合の、生理的、心理的、身体的効果に対する検証を行った。その結果、緑陰環境郡が心理的にストレスの低下に効果があり、緑地が都市計画において重要であることを検証した。このように街路樹はさまざまな効果が期待されている。また、それら効果を発揮するために国土交通省は昭和 51 年に「道路緑化技術基準」 [9] を設けた。その結果、道路における街路樹の植栽は無作為なものではなく、規則性と街路樹の持つ効果を発揮できる植栽が行われている。また、国土交通省中部地方整備局は、道路緑化基準を基本とし、中部地方特有の街路樹の植栽法則 [10] をまとめた。その結果、都市部や地方部のように景観が変わる地域によって、生成する街路樹の植栽パターンに特徴付けを行った。また、江戸川区は「江戸川区水と緑の行動方針」 [11] の中で、街と緑との調和を図る都市計画作りを行った。このように都市の中に存在する街路樹は、都市のあり方において大きな影響を与えている。

現在都市自動生成ツールには CityEngine [12] がある。このツールは、道路網の生成タイプや建物のサイズなどのパラメータを入力することで、都市の生成を自動で行う。さらに、CGA スクリプトを記述することで、ユーザーが想定した都市の町並みを再現できる。CityEngine での街路樹の生成方法は、道路に適応している CGA スクリプトにそれぞれの植栽パターンを記述することで行う。しかし、CityEngine は道路同士の接続関係が記録されていないため、街路樹の連続性や、街区による街路樹の統一などを自動で行うことができない。また、街路樹の植栽規則に関する知識がないと不自然な植栽を行ってしまう場合がある。

そこで本研究において著者は、日本の植栽規則にしたがい、都市自動生成における街路樹の自動植栽を行う手法を提案した。本手法では、道幅や道の長さによる道路の形状や、各道路同士の接続条件などを考慮し、街路樹の植栽に最適なパターンを自動で決定することで、植栽を行う。今回利用する植栽パターンについては、第2章および第3章で説明する。本ツールはゲームエンジンである、Unity[13]を利用して制作した。ユーザーは、エディターの編集ボタンを利用して制作する都市の道路を作る。その際に、道路が持つ幅や長さなどのパラメータを入力する。その後完成した道路網の接続関係と、各パラメータの数値から、植栽パターンに自動で適応することで、植栽を行った都市の道路網が完成する。そして最後にデータを保存する。本研究の検証は、既存のツールによる植栽パターンの生成画像と、実際に現実で存在する道路の画像、そして本ツールを用いて生成した画像の比較検証によって行う。既存のツールは、CityEngineによる生成を行い、実際の道路についてはGoogleEarth[14]を利用した画像を用いる。比較検証の結果、本ツールは歩道や中央分離帯などの植栽に対して、従来のツールよりも、より日本の植栽規則にしたがった形で植栽を行うことができた。また、環境設置帯や、交通島などの特徴的な植栽パターンの形成を行うことができ、従来のツールでは作成できない植栽パターンも生成可能になった。以上の結果から本手法が有用であることがわかった。

1.2 本文の構成

本論文は、まず第2章で日本で行われている街路樹の植栽規則を日本の法令や論文からまとめる。第3章は、第2章で選定した生成対象それぞれの生成アルゴリズムと実装について述べる。第4章は、生成したアルゴリズムの優位性を述べるために、実際の写真と既存のツールで生成した街路樹、本手法で生成した街路樹の比較検証を行う。第5章は、第4章での検証を踏まえ、本研究の考察を述べる。最後に第6章は、本研究のまとめを行う。

第 2 章

街路樹の植栽

本章では、日本で行われている街路樹の植栽規則をもとに、実際に植栽されている街路樹の植栽パターンの例をあげる。植栽パターンの構成は、国土交通省が昭和 51 年に発令した「道路緑化技術基準」と、平成 20 年に国土交通省中部地方整備局の設定した「道路設計要領」、江戸川区が行った、「江戸川区水と緑の交通方針」をもとに行う。これらの文献は、一般的な植栽規則の他に特徴的な植栽パターンについてまとめている。道路緑化基準は、道路の道幅に対する街路樹の間隔や、高さの基準を定めている。また街路樹の植栽にともなう用語をまとめるなど、街路樹を植栽するための基本方針を示している。道路設計要領は、樹木の選定方法と植栽規則を都市部と地方部で別々に定めている。これにより、都市部と地方部の景観にあった植栽を行う方針を示している。江戸川区水と緑の交通方針は、都心部の複雑な交通網を持つ景観に対して、自然との調和をはかる街路樹の植栽をまとめている。

さらに、本ツールで使用する樹種については、国土交通省国土技術政策総合研究所が平成 26 年にまとめた、「国土技術政策総合資料 我が国の街路樹 VII」[15]を利用する。この資料は、平成 24 年 8 月から 11 月の間に、各都道府県、政令市、国土交通省各地方整備局、北海道開拓局、沖縄総合事務局および高速道路会社に道路緑化樹木に関するアンケート調査を行い、全国、地域別、都道府県別、道路種別等による、道路緑化樹木の現状を調査したものである。

また道路の構造の決定には、「都道における道路構造の技術的基準に関する条例」[16]と内閣が昭和45年(最終改正平成23年)に制定した、「道路構造令」[17]を利用して行う。道路構造令は用語の定義や、道路の構造に関する具体的な規律がまとめられている。都道における道路構造の技術的基準に関する条例は、中央分離帯や、環境施設帯などの具体的な施設の設置条件が決められている。本手法ではこれら2つの規則を用いることでより正確な道路の構造の実現を行う。

2.1 用語の定義

本節では、本論文で使用する用語について説明する。本論文で使用する用語の定義は、道路緑化技術基準、道路構造令にもとづいて行う。次の8点は、用語とその説明をまとめたものである。

- 高木：街路樹の樹高が3m以上の木
- 中木：街路樹の樹高が1m以上3m未満の木
- 低木：街路樹の樹高が1m未満の木
- 幹線道路：全国あるいは地域、都市内において、主要な地点を結び道路網の骨格を形成する道路
- 交通島：車両の安全かつ円滑な通行を確保するため、または横断する歩行者もしくは乗合自動車もしくは路面電車に乗降する者の安全を図るために、交差点、車道の分岐点、乗合自動車の停留所、路面電車の停留場等に設けられる島状の施設をいう
- 環境施設帯：道路環境保全のための道路用地の取得および、管理に関する基準についてにもとづいて設けられる幹線道路における、沿道の生活環境を保全するための道路の部分を用い、植樹帯、路肩、歩道、副道等で構成される

- 植樹柵：おもに街路樹を植栽するために、歩道、自転車道および自転車歩行者道の一部に縁石等で区画して設けられる植栽地をいう
- 植樹帯：良好な道路交通環境の整備または沿道における良好な生活環境の確保を図ることを目的として、樹木を植栽するために縁石線または柵その他これら類する工作物により区画として設けられる帯状の道路部分
設置幅を標準的に1.5 mとすることが望ましい

2.2 街路樹の機能

本節では、街路樹の機能について述べる。次の5点は、道路緑化基準で定義されている、街路樹の機能をまとめたものである。

- 景観向上機能：街路樹が装飾物となって景観を向上させる機能
- 生活環境保全機能：自動車などの騒音に対する障壁となる機能
- 緑陰形成機能：日射の遮蔽、放射冷却の抑制、風速の軽減させる機能
- 交通安全機能：視線を誘導し、進行方向を分かりやすくする機能
- 防災機能：風速の低減など、防災効果を発揮する機能

2.3 樹形のタイプ

本節では、街路樹の樹形について述べる。街路樹の樹形は卵形、円錐形、楕円形、不状形、傘形、ヤシ形の6種類の形が存在する。それらの形には、樹高と根張りの関係から標準的な樹間距離が違う。表2.1は、それぞれの標準的な樹間距離をまとめたものである。

表 2.1: 樹高と標準的な樹間距離

樹高 \ 樹間距離	卵形	円錐形	楕円形	盃状形	傘形	ヤシ
4～6m	4～6m	3～6m	5～8m	5～8m	5～8m	4～8m
6～8m	5～8m	4～8m	7～10m	7～10m	7～10m	6～10m
8～10m	6～10m	5～10m	9～13m	9～13m	9～13m	8～13m
10m 以上	7m 以上	6m 以上	11m 以上	11m 以上	11m 以上	10m 以上

また図 2.1 は、前述した樹形を表すと共に、樹形それぞれの理想的な造形比率を縦 1 に対して示したものである。

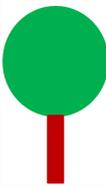
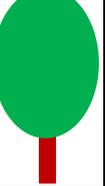
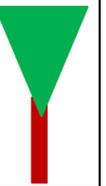
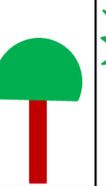
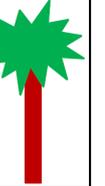
樹形図						
造形比	2～3:1	2.5～3:1	3～4:1	2.5～3:1	1.5～3:1	2～3:1
樹形	卵形	円錐形	楕円形	盃形	傘形	ヤシ形

図 2.1: 樹形と造形比

2.4 樹種の選定

本節では、街路樹に利用する樹種の選定方法について述べる。樹種の選定は次の 3 点を留意しなければならない。

- 維持管理が容易な樹種を採用する
- 踏み固めや土壌の安定などのために、中木・低木は常緑樹を主体とする
- 同一樹種、同形、同大なものが一定数量入手可能である

これらの要素は、都市の環境の面の配慮、街路樹の景観効果を発揮するために、考えなければならない。また、日本に実際に植栽されている街路樹の樹種は、「国土技術政策総合資料 我が国の街路樹 VII」にまとめられている。この資料は、高

木、中木それぞれの全国の植栽数の統計データが存在する。表 2.2 は、全国に植栽されている高木の構成比をまとめたものである。

表 2.2: 全国に植栽されている高木の構成比

順位	樹種名	構成比
1	イチョウ	8.4
2	サクラ	7.7
3	ケヤキ	7.2
4	ハナミズキ	5.3
5	トウカエデ	4.8
6	クスノキ	4.1
7	ナナカマド	2.9
8	日本産カエデ類	2.7
9	モミジバフウ	2.5
10	プラタナス類	2.1
	その他	52.1
	合計	100

表 2.2 は全国に植栽されている中木の構成比をまとめたものである。

表 2.3: 全国に植栽されている中木の構成比

順位	樹種名	構成比
1	ツツジ類	44.3
2	シャリンバイ類	6.7
3	アベリア類	6.6
4	サザンカ類	3.9
5	ドウタンツツジ類	3.2
6	セイヨウツゲ	2.6
7	ヘデラ類	2.5
8	ヒペリカム類	2.1
9	イヌツゲ類	2.1
10	ハマヒサカキ	1.5
	その他	24.5
	合計	100

2.5 歩道植栽

本節では、歩道植栽の植栽パターンについて述べる。まず、一般事項として次の2点について留意しなければならない。

- 車道との間に設置された植樹帯に、道幅、植樹帯の大きさ等により、高木、中木、低木による連続した植栽を行う
- 歩道空間の有効幅 2.0 m以上を確保する

次に、標準的な植栽法則として、次の4点がある。

- 並木形式の植栽では、高木周辺の美観、植栽帯内の踏み固め防止等のため、低木または芝生等を植えると良い
- 歩道幅 3.0 m以上の道路は植栽幅 0.76 m以上の植樹帯を設置し、街路樹を植栽する
- 歩道幅 2.5 m以上 3m 未満の道路は植樹柵を設置し植栽する
- 歩道幅 2.5 m未満の道路は連続した街路樹の植栽を行わず、歩道の幅を考慮して、可能な限り植栽する

さらに、高木を植栽する際には、次の5点を考慮しなければならない。

- 表 2.4 の様に、道路幅別に樹高を決定する
- 植栽はおおむね 500m 以上続くことが望ましい
- 大規模な交差点等で街路樹の連続が不可能な場合や沿道状況・道路構造等が変化する場合は樹種を変えることができる
- 街区の途中における樹種の変更は避ける

- 高木の植栽は、車道沿いの歩道樹帯では、分離帯開口部及び、横断歩道の先端部から 10 m以上離す

表 2.4: 車線数と樹高

道路の片側車線数	樹高
3 車線	8m ~ 10m
2 車線	6m ~ 8m
1 車線	4m ~ 8m

また高木による並木は、3種類の植栽パターンが存在する。まず、同一樹種がある。この植栽パターンは、統一感のある整然とした景観作りをもたらす。次の2点は、同一樹種による植栽パターンで注意する点である。

- 樹高を揃える
- 木の芯の向きをそろえる

次に2種類の交互並木による植栽パターンがある。この植栽規則は、リズム感のある景観作りをもたらす。次の2点は、交互並木による植栽パターンで注意する点である。

- 樹種ごとに樹形を揃える
- 樹高に高低差をつける

最後に複数樹の並木による植栽パターンがある。この植栽規則は、森林の様な自然な雰囲気のある景観作りをもたらす。次の2点は、複数樹の並木による植栽パターンで注意する点である。

- 自然な樹形を意識し、一律単純な景観をさける
- 樹木間の被圧が起きないように間隔を考慮する

次に、中・低木植栽について述べる。次の2点は植栽条件である。

- 主に常緑樹を植栽する
- 中木と低木を列植する場合は、中木を車道側に植栽する

2.6 中央分離帯

本節では中央分離帯の街路樹植栽パターンについて述べる。まず、植栽にあたり次の3点を留意しなければならない。

- 中央分離帯の幅が1.0 m以上ある
- 主に中木・低木による植栽を行う
- 4車線以上の向かい合わせの交通が多い道路に設置する

次に植栽パターンについて述べる。図2.2は、中央分離帯の植栽パターンの例である。



図 2.2: 中央分離帯の配置例

中央分離帯では次の4点到注意して植栽しなければならない。

- 分離帯開口部および、横断歩道の先端部から5 mにおける樹高は、車道歩道面から0.75 m以下の植栽とする（図2.2のAの部分）

- 図 2.2 の A の部分から 30 m における樹高は、車道歩道面から 0.9 m 以下とする（図 2.2 の B の部分）
- 図 2.2 の B の部分から先を幅に応じて植栽を行う（図 2.2 の C の部分）
- 中央分離帯の樹種は常緑樹が望ましい

2.7 交差点

本節では交差点における植栽規則を述べる。植栽の際には次の 6 点を注意しなければならない。

- 植栽の構成は、単純で低木の密植もしくはシンボリックな高木の単純植栽とする
- 高木を植栽する場合 10m 以上離し植栽する
- 同じような角地が対照的に設けられている場合は、全てに同一の植栽構成を用いる
- 大きな都市部の主要な交差点では、高木植栽により広場的なスペースを配慮する
- 地方部の特に景観変化の少ない道路では、高木の植栽等ランドマークとなる植栽を行う
- 花壇を設置して季節の草花等を植栽する事も考慮する

2.8 交通島

本節では、交通島における植栽パターンについて述べる。植栽の際には次の 5 点を注意しなければならない。

- 設置場所、規模、形状等の条件により、芝・地被類・低・中・高木を植栽する

- 中・高木を植栽する場合には、視距妨げないように考慮する
- 低木は、車道面より 0.75 m 以下の高さとする
- 高木は、樹冠下の空間を広げ、視距を確保できるように枝下の高い (2.5 m 以上) のものを植栽する
- 道路が同一平面で交差し、または接続する場合には、必要に応じ設ける

図 2.3 は交通島における植栽地点を表した図である。

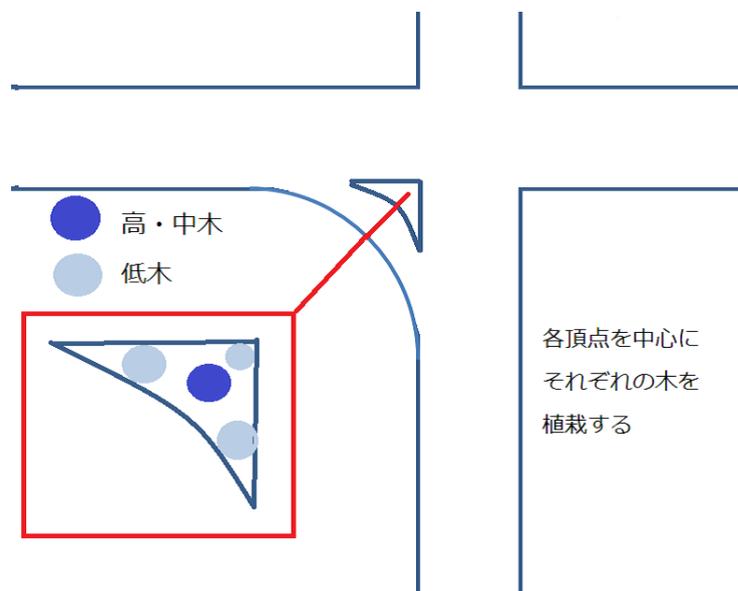


図 2.3: 交通島における植栽地点の例

図 2.3 のように、交通島における設置場所は、各頂点とその頂点の重心点に植栽を行う。また、高木・中木の植栽地は視距妨げないように考慮する。

さらに、交通島の設置には、直進車線とほぼ同程度の、左折、右折車の交通量と速度がある場合に設置する。

2.9 環境施設帯

本節では、環境施設帯における植栽方針について述べる。植栽の際には次の3点を注意しなければならない。

- 植樹帯を確保する
- 幅が10 mの場合3 m以上、20 mの場合は7 m以上の幅をもった植樹帯を確保する
- 低木は、車道面より0.75 m以下の高さとする

第 3 章

提案手法

本章では、都市自動生成時における植栽規則を考慮した、街路樹の植栽方法について述べる。まず 3.1 節では、本ツールを用いて街路樹の植栽を実現する流れを述べる。さらに節 3.2 では道路網生成の方法について述べる。次に節 3.3 では街路樹の植栽パターン決定の手順を説明し、それぞれの植栽パターンを具体的に生成するためのアルゴリズムについてさらに細分化して述べる。

3.1 本ツールを用いて街路樹の植栽を実現する流れ

本節では、本ツールを用いて街路樹の植栽を実現する流れについて述べる。次の図 3.1 は、本ツールの実行の流れをフローチャートによって述べたものである。

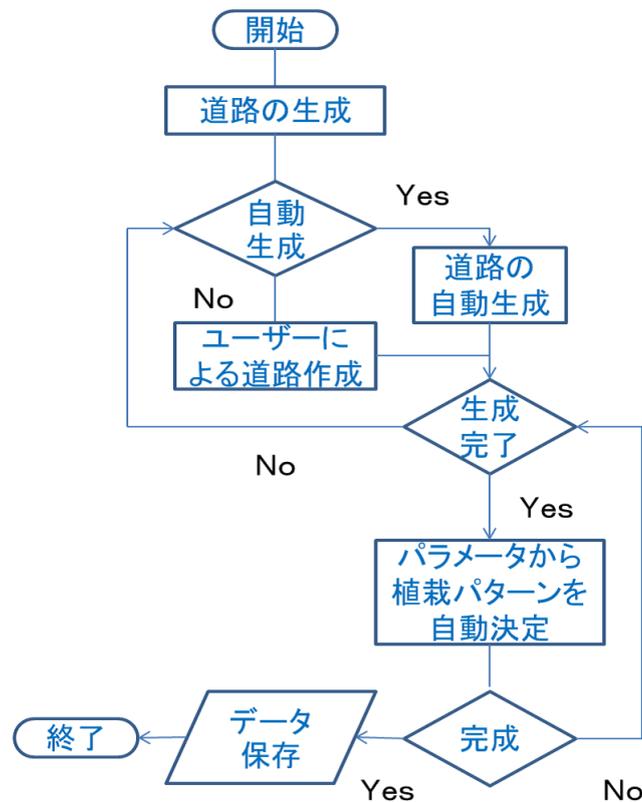


図 3.1: 実行の流れを表すフローチャート

本ツールは、道路網の作成方法を2つの方法によって行う。まず1つ目は、自動生成によって指定した範囲の大きさの道路網を作成する方法である。そして2つ目は制作されている道路網にユーザーの編集を行う方法である。本ツールはこれら2つの方法を用いて道路網を作成したあと、各道路の形状特徴や道路同士の接続関係から、生成する街路樹の植栽パターンを自動で決定する。そして最後に完成した、道路網をデータとして保存をすることで本ツールの実行を終了する。

3.2 道路網の生成手法

都市全体の道路網を生成する手法は、加藤ら [18] や飯村ら [19] の行った、L-System を用いた方法によって行う。L-System は、自己相似系の形状を作ることができるアルゴリズムである。加藤らは、都市の形状が人工と自然の両方の性質を有する

ことから、L-system に用いることができると仮定し、その結果有用性を証明した。そこで本システムは、L-system を用いた生成方法を行うことで都市形状をもった道路網を作成する。

3.3 植栽パターンの決定の流れ

本節は、植栽規則の決定について述べる。植栽パターンは、道路の形状特徴、道路の接続関係によって決定する。図 3.2 は、本節の接続条件と形状条件から植栽パターンを決定する流れをフローチャートでまとめたものである。

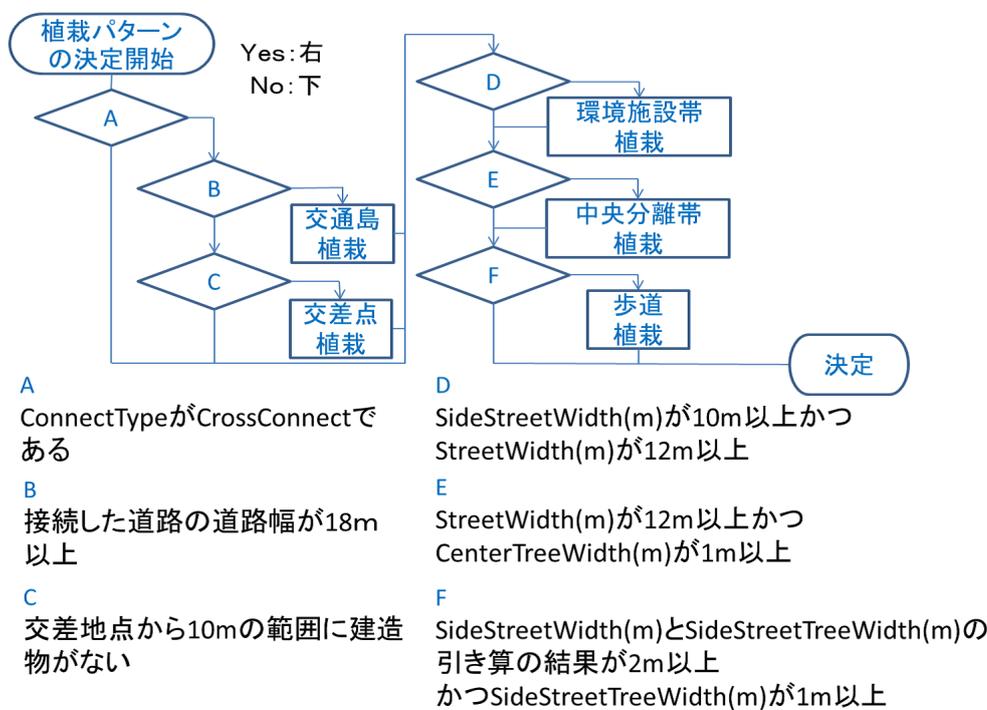


図 3.2: 植栽パターン決定のフローチャート

本節のこれ以降の小節では植栽パターンの決定の詳細について述べる。

3.3.1 道路の接続条件による植栽パターンの決定

本小節では、道路の接続条件から植栽パターンを決定する方法について述べる。接続タイプには、道路の始点、終点を表す JointType 変数と、どの形状の接続を

行うかを表す `ConnectType` 変数と接続の際に、道路サイズの比較を行い形状の大小を比較した値を表す `ComparisonSize` 変数がある。これら接続条件の決定は道路生成時に自動で行う。表 3.1 は本ツールが持つ、接続タイプを表す変数の値とその意味を表した表である。

表 3.1: 接続タイプ

変数名	値	意味
JointType	Top	連続した道路の先端
	Center	連続した道路の中間
	Bottom	連続した道路の末端
ConnectType	TCrossConnect	丁字の接続を行っている
	CrossConnect	交差点の接続を行っている
	None	他の道路と接続していない
ComparisonSize	BigSize	道路幅が短い道路と接続している
	SmallSize	道路幅が長い道路と接続している
	None	他の道路と接続していない

まず、`JointType` は道路がどのような連続性を持っているかを表す。そしてその変数値は先端を `Top`、中間を `Center`、末端を `Bottom` とする。次に、`ConnectType` は道路同士が接続した際の接続形状を表す。そしてその変数値は、丁字の接続を行っている場合は `TCrossConnect`、交差点を形成する接続を行っている場合 `CrossConnect`、接続が行われていない場合は、`None` となる。最後に、`ComparisonSize` は接続状態において、道路の幅の比較を行いどちらの道路が大きいのかを表す。道路幅が短い道路との接続を行っている場合は `BigSize`、道路幅が長い道路と接続している場合は `SmallSize`、接続が行われていない場合は、`None` となる。また `BigSize` の場合は、その道路の街路樹は連続した植栽を行い `SmallSize` の場合は、その道路の `JointType` が `Bottom` までの連続した植栽を行う。次の 2 点はこれら接続条件から、植栽パターンの決定を行う条件である。

- 交差点は、交差点接続を行っているかつ、交錯地点から 10 m 以内の地点に建造物を配置しないときに植栽を行う

- 交通島は、交差点接続を行っていないかつ、接続した道路の道路幅が 18 m 以上のときに植栽を行う

交通島は、第 2 章で述べたように、左折や右折車の交通量が多い道路に設置される。そのため、本ツールでは、車線数が多い道路に交通量が多いと想定し、6 車線以上の道路と接続した際に、植栽を行う。

次にそれぞれの植栽パターンの詳細な生成アルゴリズムについて述べる。次の 2 点は交差点の具体的な植栽方法である。

- 道路同士の接続地点から 10 m の間に植栽を行わない
- 交差点から 10m 以上離れた地点にランダムで植栽を行う

次の 3 点は交通島の具体的な植栽方法である。

- 図 3.3 のように設置帯の各頂点に低木の植栽を行う
- 図 3.3 のように設置帯の重心に中木または高木の植栽を行う
- 中木、高木の実際は道幅が 20m 以上のときに中心に高木による植栽を行う

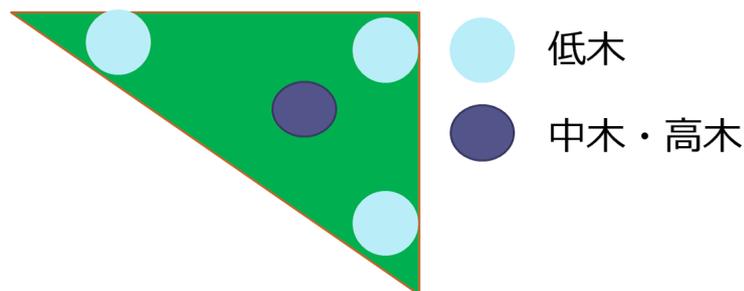


図 3.3: 交通島の植栽ポイント

3.3.2 道路形状による植栽パターンの決定

本小節では、道路の形状から植栽パターンを決定する方法について述べる。第 2 章で述べたように、街路樹の配置には、車線の量や歩道のサイズ、植樹帯、植樹

の大きさによって植栽する街路樹の大きさ、間隔が決まる。また車線数によって中央分離帯や環境施設帯などの設置条件が決まる。図 3.4 は本ツールで使用する、それらを表したデータである。

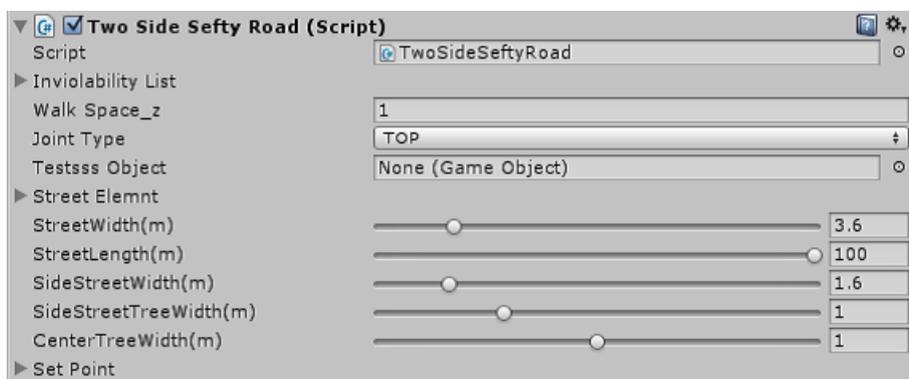


図 3.4: 本ツールの基本パラメーター

まず、StreetWidth(m) で指定した車道の道幅を設定し、StreetLength(m) によって道路の長さを決定する。さらに、SideStreetWidth(m) は道路の歩道幅を表し、SideStreetTreeWidth(m) は歩道における街路樹の設置幅を表している。そのほかに、CenterTreeWidth(m) は中央分離帯の街路樹の幅を表している。次の 3 点はこれらのデータから、植栽パターンの決定を行う条件である。

- 歩道に対する植栽は有効歩道幅を考慮するため、歩道幅と街路樹設置幅の引き算の結果が 2m 以上の時、植栽を行う
- 中央分離帯は、車道幅が 12m 以上かつ中央分離帯幅が 1m 以上のときに植栽を行う
- 環境施設帯は、歩道幅が 10m 以上かつ車道幅が 12m 以上のときに植栽を行う

中央分離帯は、第 2 章で述べたように 4 車線以上の道路に設置される。そのため本ツールでは、1 車線が 3m のため、12m 以上の制限を設ける。また、環境施設帯は、街路樹、路肩、歩道、副路の構成をとるため、歩道幅が 10m 以上の際に植栽を行う。さらに、環境施設帯は、幹線道路に設置を行うため、4 車線以上の 12m 以上が設置条件となる。

次にそれぞれの植栽パターンの詳細な生成アルゴリズムについて述べる。次の2点は歩道植栽の具体的な植栽方法である。

- 街路幅と、車道幅から、設置する街路樹の高さを変更する
- 交差点接続部の先端部から 10 m以上植栽しない

次の4点は中央分離帯の具体的な植栽方法である。

- 交差点接続部から 5 m以内の場合植栽は 0.7 m以下とする
- さらに 30 m以内の場合植栽は 0.9 m以下とする
- その後は、中央分離帯幅に応じて植栽を行う

次の2点は環境施設帯の具体的な植栽方法である。

- 街路樹設置幅に応じて道路に隣接する街路樹の設置幅を決める
- 街路樹の植栽パターンは歩道植栽の方法と同様の条件で行う

第 4 章

検証

この章では、本ツールによって生成した植栽規則を考慮した街路樹の画像と、既存の都市自動生成ツールである CityEngine を用いた街路樹の画像、現在日本で植栽されている、街路樹の画像を比較して、本ツールの有用性を検証する。

今回検証する植栽パターンは、第 2 章であげた植栽パターンの例と都市全体の画像から行う。現在日本で植栽されている画像については、GoogleEarth の画像を利用する。その際利用する地域は、論文で利用した中部地方にある岐阜県と、江戸川区に存在する道路を利用する。CityEngine を用いた生成画像については、公式サイト [20] で配信されている、サンプルプログラムで生成される街路樹の画像を用いる。その際、サンプルプログラムの詳細なパラメーターの変更は行わない。また交通島、環境施設帯については CityEngine 上で表現されていない植栽パターンのため、CityEngine による画像の提示はしない。本ツールの生成に関する設定は、道路網の自動生成にもとづいて植栽を行う。また、道幅や道の長さなどの詳細なパラメーターは、道路網生成時に自動で設定されるものを利用する。

4.1 都市全体

図 4.1 は GoogleEarth での江戸川区の航空写真を、図 4.2 は CityEngine での実行画像をあらわしている。また、図 4.3 は本ツールの実行画像をあらわしている。

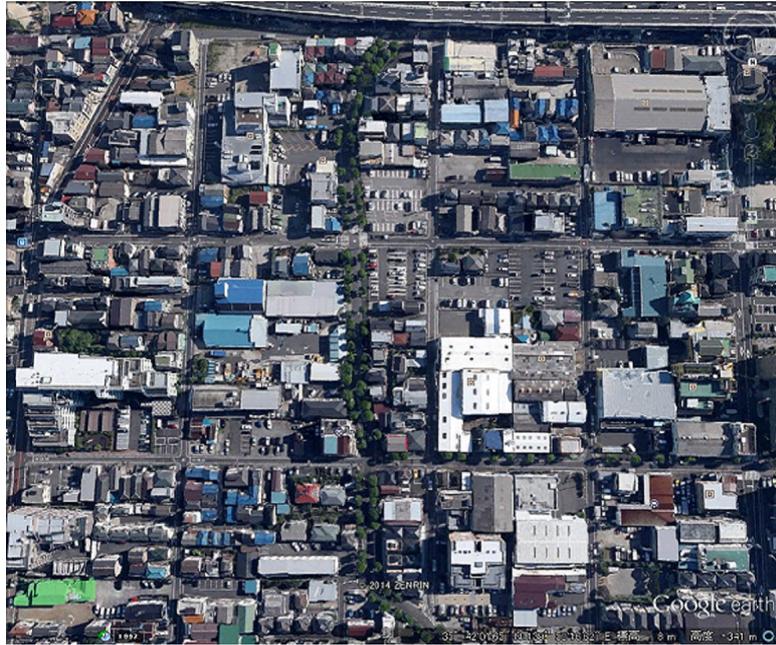


図 4.1: GoogleEarth による江戸川区の航空写真©ZENRIN,©Google



図 4.2: CityEngine による都市全体の実行例



図 4.3: 本ツールによる都市全体の実行例

図 4.1 のように、並木道などの植栽が行われる道路は、大規模な交差点や街区の変更がない場合、500 m以上の連続した植栽が行われる。図 4.2 では、記述したスクリプトによって都市全体の植栽を行う事ができる。しかし次のような欠点がある。図 4.4 は、図 4.2 を拡大したものである。図 4.5 は、図 4.3 を拡大したものである。



図 4.4: CityEngine による
都市全体の拡大図

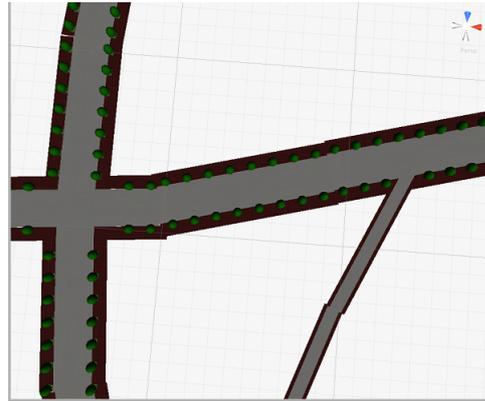


図 4.5: 本ツールによる
都市全体の拡大図

図 4.4 のように CityEngine では、道の連続性を考慮して植栽を決定していないため、道の途中で植栽が変更してしまう場合がある。図 4.5 は、その問題の解決として道の連続性を考慮することで、交差点を挟んだ場合も植栽を行うことができている。また、歩道の幅を取り適正外の長さの場合には植栽しないなど、道の形状特徴によって植栽パターンの変更を行うことができている。

4.2 一般道

図 4.6 は GoogleEarth での一般道の植栽例を、図 4.7 は CityEngine での実行画像をあらわしている。また、図 4.8 は本ツールの実行画像をあらわしている。



図 4.6: GoogleErath による
一般道植栽の例 ©ZENRIN, ©Google



図 4.7: CityEngine による
一般道植栽の実行例



図 4.8: 本ツールによる一般道植栽の実行例

図 4.6 のように同一種の連続した街路樹は一定の高さと道路にそった植栽が望ましい。また、植樹帯や植樹柵を設置することが求められる。図 4.7 では、道にそった街路樹の植栽が行われている。本ツールでは、道路の接続関係を記録しているため、図 4.8 の実行結果のように連続した整った植栽を行うことができる。また、設置幅に応じて植栽を行うことができている。以上のことから、既存のツールと同様に歩道植栽を自動植栽することが可能となっている。

4.3 中央分離帯

図 4.9 は GoogleEarth での中央分離帯の植栽例を、図 4.10 は CityEngine での実行画像をあらわしている。また、図 4.11 は本ツールの実行画像をあらわしている。さらに図 4.12 の図は、図 4.11 の拡大図を表している。



図 4.9: GoogleEarth による
中央分離帯の植栽例
©Google, ©ZENRIN
US Dept of State Geographer



図 4.10: CityEngine による
中央分離帯植栽の実行例

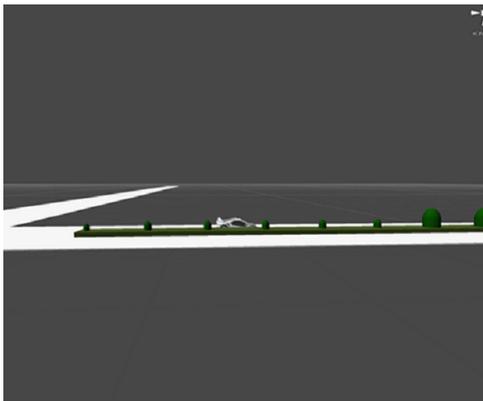


図 4.11: 本ツールによる中央分離帯の
実行例

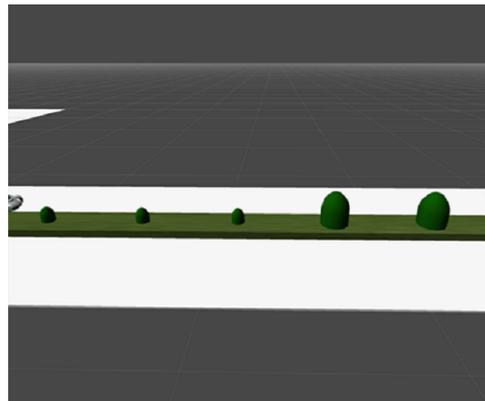


図 4.12: 本ツールによる中央分離帯の
実行例の拡大図

図 4.9 のように、中央分離帯の街路樹は交差点接続部分において、視界を妨げるような植栽を行ってはいけません。それに対して図 4.10 では、接続部分を考慮に入れず植栽を行っているため、走行車の視界を妨げている。図 4.11 では、道路の交差点接続部では街路樹の高さの制限によってサイズが小さくなっており、植栽規則にある、30 m以内を 0.9 m以下の植栽を行う規則が適応されている。また図 4.12 のように、樹高の制限がない地点では、中央分離帯幅に応じて樹高が設定される。

4.4 交差点

図 4.13 は GoogleEarth での交差点の植栽例を、図 4.14 は CityEngine での実行画像をあらわしている。また、図 4.15 は本ツールの実行画像をあらわしている。



図 4.13: GoogleErath による
交差点の植栽例 ©ZENRIN



図 4.14: CityEngine による
交差点植栽の実行例

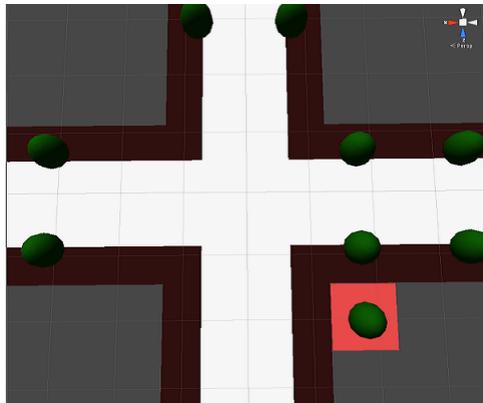


図 4.15: 本ツールによる交差点植栽の実行例

交差点での植栽は、第 2 章で述べたように、接続部から 10 m 以上離れた空間に建造物がない場合、高木による緑陰を作ることが望ましいとされている。例として図 4.13 では、交差点に 10 m 以上の空間を確保し、高木の植栽を行っている。しかし図 4.14 では、交差点における高木の植栽を行うための空間を確保することができていない。そのため、図 4.14 の画像右下にある赤い円形部分のように、交差

点における高木の植栽を行うことができない。その一方で図 4.15 の実行結果の結果では、画像右下にある赤色の部分を空間の面積として考慮することで、交差点における高木の植栽パターンを表現することができる。

4.5 交通島

図 4.16 は GoogleEarth での交通島の植栽例を、図 4.17 は本ツールの実行画像をあらわしている。また図 4.18 は図 4.17 の拡大図をあらわしている。



図 4.16: GoogleErath による
交通島の植栽例 ©Google, ©ZENRIN

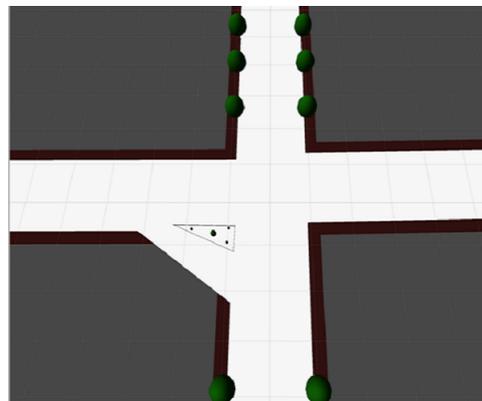


図 4.17: 本ツールによる交通島の実行例

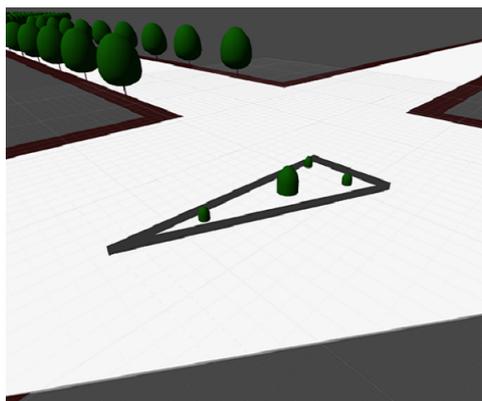


図 4.18: 本ツールによる交通島の実行例の拡大図

図 4.16 のように、交通島には交通が多くスピードの出る道路において左右へ曲がる際にスムーズな誘導を行うことができる機能がある。その際の植栽は、視界

を遮らない植栽が行われている。図 4.17 では、植栽の高さと、植栽ポイントを考慮した植栽を行うことで、現実的な植栽が行われている。また、図 4.18 のように、植栽ポイントの重心には幅に応じて中木の植栽を行うことができています。

4.6 環境施設帯

図 4.19 は GoogleEarth での環境施設帯の植栽例を、図 4.20 は本ツールの実行画像をあらわしている。



図 4.19: GoogleEarth による
環境施設帯の植栽例
©Google, ©ZENRIN

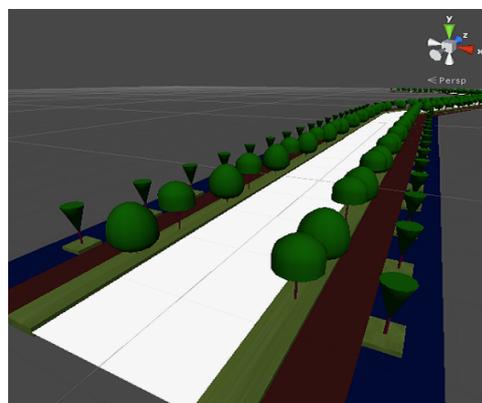


図 4.20: 本ツールによる
環境施設帯の実行例

図 4.19 のように、環境施設帯は、道路、街路樹、歩道、副道の複合からなる。図 4.20 のように、本ツールでは環境施設帯において茶色の部分を副道、青色の部分を歩道を表し、環境施設帯の要素を持つことができています。

第 5 章

考察と展望

本章では、第 3 章の検証結果をもとにした考察を行う。本研究の検証結果から、次の 5 点のことが言える。

- 連続性を考慮した植栽を行うことで、既存のツールよりも連続した街路樹の植栽を行うことができた
- 中央分離帯における交差点接続部からの距離に応じた樹高の制御を行うことができた
- 交差点のスペースを考慮することで、規則にあった高木植栽を行うことができた
- 環境施設帯の持つ道路、街路樹、歩道、副道の構成を行うことができた
- 交通島の設置に対して、街路樹の高さと植栽場所を考慮した植栽を行うことができた

まず道の連続性を考慮することで、交差点のような道が分断してしまう道路においても、連続した植栽を行うことができるようになった。また、歩道や中央分離帯などにおいても、設置幅や樹高に対する規則にしたがって植栽を行うことができた。さらに、交差点や環境施設帯、交通島のような特徴的な植栽においても、

接続関係や道路形状の特徴を判別することで、植栽を行うことができるようになった。よって、道路の形状と接続関係から道路における植栽を決定する手法を用いることで、従来よりもより現実的な植栽規則を考慮した、街路樹の植栽を行うことができた。

しかしながら、本研究では建築物の建築限界を設けていないため、街路樹の樹高において十分な制限を設けることができない。現実的な植栽を行う際は、道路における建築物の建築限界を考慮し、街路樹が建造物に損害を与えないようにしなければならない。そのため、建築物との整合性が本ツールの問題点であるといえる。

第 6 章

終わりに

本研究では、日本で行われている街路樹の植栽規則を考慮した、都市自動生成時における街路樹の自動植栽をテーマとした。そして、各道路の形状特徴や、各道路の接続関係から、現実で実際に配置されている街路樹の植栽規則に適応させる手法を行った。その結果、道路の植栽に連続性を自動で持たせることや、道路同士の接続時に、街路樹の植栽規則の優先度を定めることができ、従来のツールよりも、街路樹の植栽をより規則に沿った形で表現することができるようになった。また歩道における街路樹の植栽だけでなく、環境施設帯や、交通島などの特徴的な街路樹の植栽を実現することができた。今後の展望として、都市の道路網生成の簡略化や、造形物の自動生成を行えるようにすることで、都市の自動生成においてより幅の広い都市の表現ができるようになることが望める。また、現実にある都市の道路網、造形物データを取り込み本ツールの植栽パターンを適応することで、現在ある都市の街路樹の植栽を提案できる、ツールとなることも望める。最後に、本研究が様々なコンテンツを制作する人々の制作支援につながることを願いつつ、本論文の締めくくりとする。

謝辞

この研究を行うにあたり、様々な助言をしてくださった当メディア学部の渡辺大地講師、三上浩司准教授には、この場を借りてお礼を申し上げたいと思います。三上先生には、論文の添削や指摘を親身になってしていただいたことや、研究意義がわからなくなった時により多くのアドバイスをいただいたことにととても感謝しております。ありがとうございました。渡辺先生には、最終発表に対するアドバイスだけでなく、研究の方向性を悩んでいたときも、アドバイスをいただけたこと、とても感謝しております。ありがとうございました。また、本大学に入学してから今まで、共にゲーム制作を行った仲間達には、研究に対するアドバイスをもらったり、精神的に支えてもらったりと、とても感謝しております。大変な時期も多くありましたが、今思い出すと、とても良い思い出となっております。ありがとうございました。最後に、同じ研究室で一緒に最後まで研究に取り組んだ、ゲームサイエンスとゲームイノベーションの同僚の皆様と、論文の関するアドバイスをいただいた、大学院の先輩方、研究で忙しい時に夕食を作ってくださったり、公私共に仲良くしていただいた、奥山先輩、辛いときに多くの応援と支えてくれた方、大学の4年間、健康で楽しい生活を支えてくれた家族に多くの感謝の気持ちを込めて、結びとします。ありがとうございました。

参考文献

- [1] SimonHaegler AndreasUlmer LucVanGool PascalMuller, PeterWonka. Procedural modeling of buildings. SIGGRAPH2006 Pages 614-623, November, December 2006.
- [2] 塚本章宏 仲田晋 山本真嗣 磯田弦 長谷川恭子 田中覚満福講次. 3次元都市モデルの自動生成-googleearth 上で江戸時代京都の可視化-. 情報処理学会・人文科学とコンピュータシンポジウム「じんもんこん 2011」論文集,299-306, 2011.
- [3] 目時英樹. 規則性を考慮した日本の集落の自動性. http://gamescience.jp/2009/Paper/Metoki_2009.pdf 参照;2015-2-7, 2009.
- [4] 林良嗣杉原健一. 3次元建物モデルの自動生成のための一般化建物ポリゴム分割法. 土木情報利用技術論文集 Vol.15,67-74, 2006.
- [5] 今佐和子 西原清一 福井幸男吉田尚之. セルの相互作用による仮想都市の区画変化シミュレーション. 芸術科学会論文誌 Vol.10, No.4, pp.241-250, 2011.
- [6] 鍋島美奈子 中尾正喜 西岡真稔仲嶋 稔喜. 日影による熱環境改善に着目した街路樹形状と配置の検討. 支部学術研究発表会前刷集 (平成 24 年), 269-272, 3月 2013.
- [7] 青野文晃 河野俊樹 武者利光瀬田恵之. ゆらぎ理論に基づく街路樹と建物の変化が街路景観の乱雑・整然性及び魅力度に与える影響: 中心市 街地における

- 乱雑・整然性に関する研究 その3. 日本建築学会計画系論文集 no.561 p.181-188, 2002.
- [8] 高柳和江. 都市空間における緑陰の効果—生理的, 心理的, 身体的分析—. 日本補完代替医療学会誌 5(2), 145-152, 2008.
- [9] 道路緑化技術基準. 日本道路協会, 1976.
- [10] 国土交通省中部地方整備局. 道路設計要領-設計編- 第13章道路緑化. <http://www.cbr.mlit.go.jp/road/sekkeiouryou/pdf/13douroryokka.pdf> 参照;2014-12-11, 12月 2008.
- [11] 江戸川区土木部保全街路樹係. 新しい街路樹デザイン 江戸川区街路樹方針. <https://www.city.edogawa.tokyo.jp/gairoju/gaiyo/desinen.html> 参照;2015-2-7, 4月 2009.
- [12] Esricityengine 製品 esri ジャパン株式会社. <http://www.esrij.com/products/esri-cityengine/> 参照;2015-2-7, 2002-2014.
- [13] Unity Technologies Japan. Unity. <http://japan.unity3d.com/> 参照;2015-2-7.
- [14] Google Inc. Googleearth. <https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/> 参照;2015-2-7, 2008-2014.
- [15] 久保田小百合栗原正夫. わが国の街路樹7. 国土交通省国土技術政策総合研究所 <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0780.html> 参照;2015-2-7, 2014.
- [16] 都道における道路構造の技術的基準に関する条例. http://www.reiki.metro.tokyo.jp/reiki_honbun/ag10143601.html 参照;2015-2-7, 1970-2011.

- [17] 道路構造令. <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S45/S45SE320.html> 参照;2015-2-7, 1970-2011.
- [18] 岡野紋 狩野均 西原清一加藤伸子. 仮想都市のための L-system による道路網生成手法の検討. 情報処理学会研究報告. グラフィクスと CAD 研究会報告 98(32), 13-18, 4月 1998.
- [19] 平沢 岳人飯村 健司. 集落と街道の生成 : 都市・集落を形成するアルゴリズム. 日本建築学会技術報告書 第 18 巻, 第 40 号,1047-1050, 10月 2012.
- [20] CityEngine. Arcgis example redlands redevelopment 2014. <http://www.arcgis.com/home/search.html?t=content&q=tags:CityEngine> 参照;2015-2-7.