2023 年度　卒　業　論　文

タイリングによる繰り返し感の軽減に関する研究

指導教員：渡辺 大地 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　M0A20198
中村 脩

2024 年 2 月

Media Science

2023 年度　　卒　業　論　文　概　要

論文題目

タイリングによる繰り返し感の軽減に関する研究

メディア学部 **学籍番号 : M0A20198**	**氏名**	中村 脩	**指導教員**	渡辺 大地 教授

キーワード	ゲーム、テクスチャ、タイリング、パーリンノイズ、テクスチャブレンド

近年、PC や家庭用ゲーム機などのハードウェアの性能が上がり、ゲーム内での建物やキャラクターなどの 3D モデルを表示できる数が増え、広大な土地を移動するオープンワールドゲームというジャンルが台頭してきた。それにともない広い地形にテクスチャを貼る機会が増えた。これまでのゲーム開発ではこういった広大な地形にテクスチャを貼る際、地形を覆う一枚の超高解像度のテクスチャを使うのではなく、一枚のシームレスなテクスチャをタイルのように敷き詰めるタイリングという手法が使われてきた。しかしタイリングは施す面が広ければ広いほどどうしても模様の繰り返し感が目立ってしまう。これを改善する既存の方法では一枚のテクスチャをタイリングした後にもう一枚のテクスチャを手作業で上塗りしていく方法や、Voronoi テクスチャを用いてテクスチャをランダムにマッピングし直す方法があるが、前者は手作業でやる手間が生じ、後者では Voronoi 模様の境界線が見えてしまう。そこで本研究では模様の繰り返し感と遠方で見えてしまう線の改善を研究の目標にし、2 枚のテクスチャを合成して自然な見た目にするテクスチャブレンドという手法に注目した。そしてタイリングを施した面同士でパーリンノイズをマスク画像として使用しブレンドを行い、2 枚のテクスチャの模様をまばらに表出させることによって、模様の繰り返し感を軽減させた。また遠景ではタイルに張り付けるテクスチャをタイル毎にランダムに回転させ、遠景で目立ってしまうテクスチャの境界線を視認しづらくさせた。これらの処理によりタイリング手法で問題となっていた繰り返し感の改善をすることが可能となった。

目　次

第 1 章　はじめに 1

1.1 研究背景と目的 1

第 2 章　研究手法 4

2.1 テクスチャブレンド 4

2.2 準備 5

2.3 本手法でのタイリング過程 5

2.4 遠景の描画処理 9

2.5 パラメータによる調整 12

2.5.1 エルミート補間を行う幅 12

2.5.2 ノイズのスケール値 14

2.5.3 遠景処理に切り替わる距離 14

第 3 章　評価と分析 16

3.1 通常のタイリング手法との比較 16

3.2 調整が上手くいかない例 18

3.3 他のテクスチャでの実行結果 20

3.3.1 土系のテクスチャによるタイリング 20

3.3.2 草系のテクスチャによるタイリング 21

3.3.3 荒地の様なテクスチャによるタイリング 23

3.3.4 カートゥーン調のテクスチャによるタイリング 24

3.4 考察 26

第 4 章　まとめ 29

謝辞 30

参考文献 31

図 目 次

1.1 土のテクスチャ 2
1.2 繰り返し感の目立つタイリング 2

2.1 ブレンドした結果 4
2.2 ブレンド画像 1 4
2.3 ブレンド画像 2 4
2.4 マスク画像 4
2.5 バリューノイズ 5
2.6 パーリンノイズ 5
2.7 タイリングに使用するテクスチャ 1 6
2.8 タイリングに使用するテクスチャ 2 6
2.9 Smoothstep 7
2.10 マスクに使用するパーリンノイズ 7
2.11 Smoothstep を施したパーリンノイズ 7
2.12 テクスチャブレンドの図 8
2.13 途中結果 9
2.14 タイルでのテクスチャの回転 10
2.15 タイル毎にランダムな回転値を設定した例 10
2.16 面 A と面 B の線形補間 11
2.17 遠景での処理を施した結果 11
2.18 幅 (0.0 〜 0.5) 12
2.19 幅 (0.25 〜 0.75) 13
2.20 幅 (0.5 〜 1.0) 13
2.21 scale 値:30 14
2.22 scale 値:100 14
2.23 カメラからの距離:250 15

2.24 カメラからの距離:50 15

3.1 通常のタイリング 17
3.2 研究手法を施したタイリング 17
3.3 図 3.2 の俯瞰視点 18
3.4 上手くいかなかった例 19
3.5 図 3.4 の俯瞰視点 19
3.6 土系のテクスチャ 1 20
3.7 土系のテクスチャ 2 20
3.8 従来のタイリング 21
3.9 研究手法によるタイリング 21
3.10 草系のテクスチャ 1 22
3.11 草系のテクスチャ 2 22
3.12 従来のタイリング 22
3.13 研究手法によるタイリング 23
3.14 荒地系のテクスチャ 1 23
3.15 荒地系のテクスチャ 2 23
3.16 従来のタイリング 24
3.17 研究手法によるタイリング 24
3.18 カートゥーン調のテクスチャ 1 25
3.19 カートゥーン調のテクスチャ 2 25
3.20 従来のタイリング 25
3.21 研究手法によるタイリング 26
3.22 遠方に見えるパーリンノイズの模様 28

第 1 章

はじめに

1.1 研究背景と目的

近年、PC や家庭用ゲーム機などのハードウェアの性能が上がり多くの処理が行えるようになった。その結果、ゲームの中に多くの建物、キャラクターなどの 3D モデルを配置できるようになり、プレイヤーの行動できる範囲はだんだんと広がっていった。そしてこの技術の向上の過程で徐々に確立されていったのが、広大な地形を移動して遊ぶことのできるオープンワールドゲームというジャンルである。近年のオープンワールドゲームとして代表的なものは、DEATH STRANDING [1]、ELDEN RING [2]、Minecraft [3]、ゼルダの伝説 ブレス オブ ザ ワイルド [4]、SKYRIM [5]、HOGWARTSLEGACY [6] などが挙げられる。これらのゲームは眼前に広がる広大なフィールドを自由に探索することのできる自由度の高さやスケール感、ストーリーの攻略順がプレイヤー次第といった点がウリにされている場合が多く、既存のゲームのオープンワールド化が望まれるなどゲームジャンルとしては近年非常に人気の高いものとなっている。

またこういったオープンワールドゲームの台頭に先駆けて広大な地形の表示、生成、処理に関する研究も盛んに行われてきた。例として昔から行われていた研究では等高線や標高値などから地形モデル生成する安居ら [7] の研究、等高線と B-spline 曲線を用いた地形生成する張ら [8] の研究、GPU を使ったリアルタイムの地形レンダリングの方法では、2 つの四分木構造を使った Rui ら [9] の研究、ノイズを使用しカメラとの距離に応じた形状を表現する HyeongYeop ら [10] の研究、メッシュシェーダを用いて地形の動的生成を行う Santerre ら [11] の研究、主曲率を用いて浸食を伴う地形の生成を行う小川 [12] の研究が挙げられる。処理の高速化に関連したものとしては、遠方の地形のメッシュをブロックベースで単純化して高速化を図った Hoppe [13] の研究や、テッセレーションシェーダとパーリンノイズを用いて少ない情報で地形生成位置を変更する山本ら [14] の研究が挙げられる。

このように広大なフィールドの生成や描画については様々な問題が挙げられるが、その地形の模様となるテクスチャの描写方法にも問題点がある。これまでのゲーム開発では広い地面に対してテクスチャを貼る際、タイリングという手法が使われてきた。これは一枚のシームレスなテクスチャをタイルの様に何枚も敷き詰める手法である。これにより広大な地面を一枚で覆うための超高解像度のテクスチャを用意する必要はなくなった。しかしこのタイリング手法はただ単に敷き詰めるだけでは、どうしてもテクスチャの繰り返し感がでてしまう。図 1.1 は一枚のテクスチャを、図 1.2 はそのテクスチャをタイリングした地面の例である。

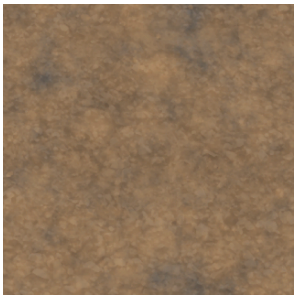

図 1.1　土のテクスチャ

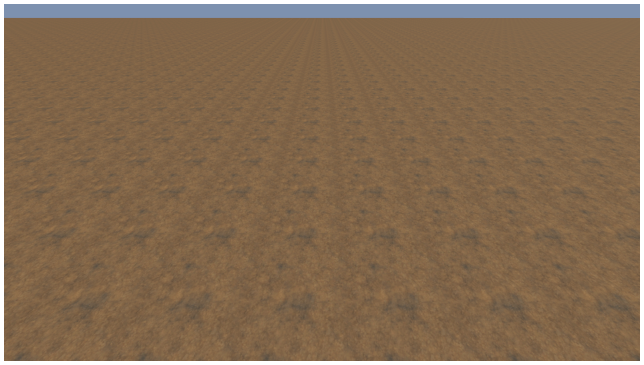

図 1.2　繰り返し感の目立つタイリング

これらを防ぐ既存手法として代表的なものは 4 つ挙げられる。1 つは一度タイリングをした面に対し、別のテクスチャを手作業で上塗りしていく手法 [15] である。実にシンプルな方法でタイリングの繰り返し感を軽減できるが、やはり上塗りをする手間がどうしても必要になってしまう。2 つ目の方法は六角形のタイルを敷き詰め、その六角形の中でランダムにテクスチャをマッピングし直す Morten ら [16] の手法である。似たような手法で 3 つ目の Voronoi テクスチャを使用する方法 [17] [18] もあり、Voronoi の模様の中でランダムにテクスチャをマッピングし直す方法がある。この 2 つの手法もしっかりタイリングの繰り返し感を軽減することが出来ており非常に効果的な手法だが前者では六角形同士の境界線が、後者では Voronoi の模様の境界線が見えてしまい、その境界線でテクスチャのつなぎ目が見えてしまう問題がある。4 つ目の手法は確率的で、非周期的なテクスチャをサンプルとして入力し、それと見た目の似たテクスチャをプロシージャルに生成してタイリングを施す Eric ら [19] [20] の手法がある。こちらは敷き詰めるタイルごとの

見た目を動的に生成するという画期的な手法である。しかし模様が規則的なものを用いた場合は上手くいかない。

そこで本研究の手法では 4 つの既存手法の問題点を踏まえ、模様の繰り返し感の軽減、加えてテクスチャの境界線が見えてしまう問題を防ぐこと、この 2 つを目標に研究を行った。そして 2 つのテクスチャを混ぜ合わせ自然な見た目にするテクスチャブレンドの手法 [21] を参考に、2 つのテクスチャのタイリング面をパーリンノイズ画像でマスクし線形補間を行うことにより、まばらに模様を表出させた。そして遠景でのタイリングではタイルごとにランダムでテクスチャを回転させ、遠景で見えてしまう線をある程度改善させることができた。その結果、タイリングに用いる 2 枚のテクスチャとパーリンノイズのマスク画像の計 3 枚を用意することで、タイリングの繰り返し感を軽減することが可能となった。

第 2 章

研究手法

2.1　テクスチャブレンド

まずこの手法で重要となるテクスチャブレンドという手法について説明する。テクスチャブレンドというのは例えば、草と土、草とレンガといった全く別の見た目のテクスチャ同士を混ぜ合わせて自然な見た目にする手法のことである。ブレンドする 2 つのテクスチャとブレンドの割合の指標となるグレースケールのマスク画像を用意し、マスク画像の明度によってどちらのテクスチャを強く出すかを決める。これにより白に近い部分では片方のテクスチャを強めに、黒に近い部分ではもう片方のテクスチャを強めに、中間の部分ではどちらのテクスチャも同じくらいの強さで表出させ、自然な見た目にしている。図 2.1 は図 2.2 〜 図 2.4 を用いてテクスチャブレンドを行った例である。

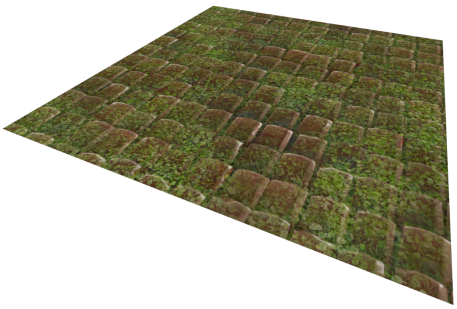

図 2.1　ブレンドした結果

図 2.2　ブレンド画像 1

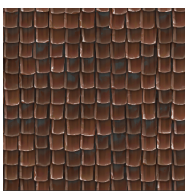

図 2.3　ブレンド画像 2

図 2.4　マスク画像

2.2　準備

本研究ではまずタイリングに使う 2 枚のテクスチャと、マスク画像として使う白黒のノイズテクスチャの計 3 枚の用意が必要である。それぞれのテクスチャを用意する上での注意点として、まずタイリングに使用する 2 枚のテクスチャは混ぜ合わせる関係上、できるだけ色味が近いものを用意することが好ましい。理由としては色味が違うものを使用してしまうと、タイリングを施した際の色味が想像と大きく違ってしまったり、色味の調整が難しいからである。そしてノイズテクスチャについてはそれぞれのテクスチャの特徴をはっきりと出したいため、図 2.5 のような白と黒の境界が曖昧なバリューノイズより、図 2.6 のような白と黒がしっかりと分かれているパーリンノイズのようなものの方が好ましい。

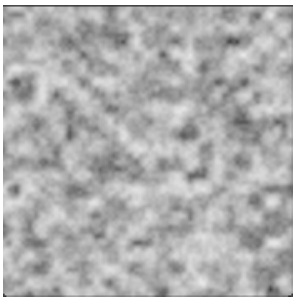

図 2.5　バリューノイズ

図 2.6　パーリンノイズ

2.3　本手法でのタイリング過程

本手法でのタイリング過程について順に説明していく。基本的には 2.1 節のテクスチャブレンドを応用したものになっている。図 2.7、図 2.8 は本研究のタイリングで用いるテクスチャである。また説明の中で用いる「タイル」とは矩形ポリゴンにテクスチャが張り付けられた状態のことを言い、「タイリング」はそのタイルを敷き詰めることを表す。

図 2.7　タイリングに使用するテクスチャ 1

図 2.8　タイリングに使用するテクスチャ 2

まずはブレンドした際にそれぞれの模様をより強く表出するために、用意したノイズのマスク画像を加工していく。具体的には図 2.9 のような Smoothstep 処理を行っている。これは 0.0〜1.0 の濃度の値の中で任意のしきい値 M と N を設定し、その 2 つの値の間をエルミート補間するものとなっている。縦軸の返り値が 0 に近いほど片方のテクスチャが、1 に近いほどもう片方のテクスチャの模様が強く出るようになっている。返り値は濃度が M 以下であれば 0 に、N 以上であれば 1 となる。この処理によって白と黒の境界をはっきりさせている。図 2.10 は本研究に用いるパーリンノイズ画像で、図 2.11 は Smoothstep による加工を施した状態である。

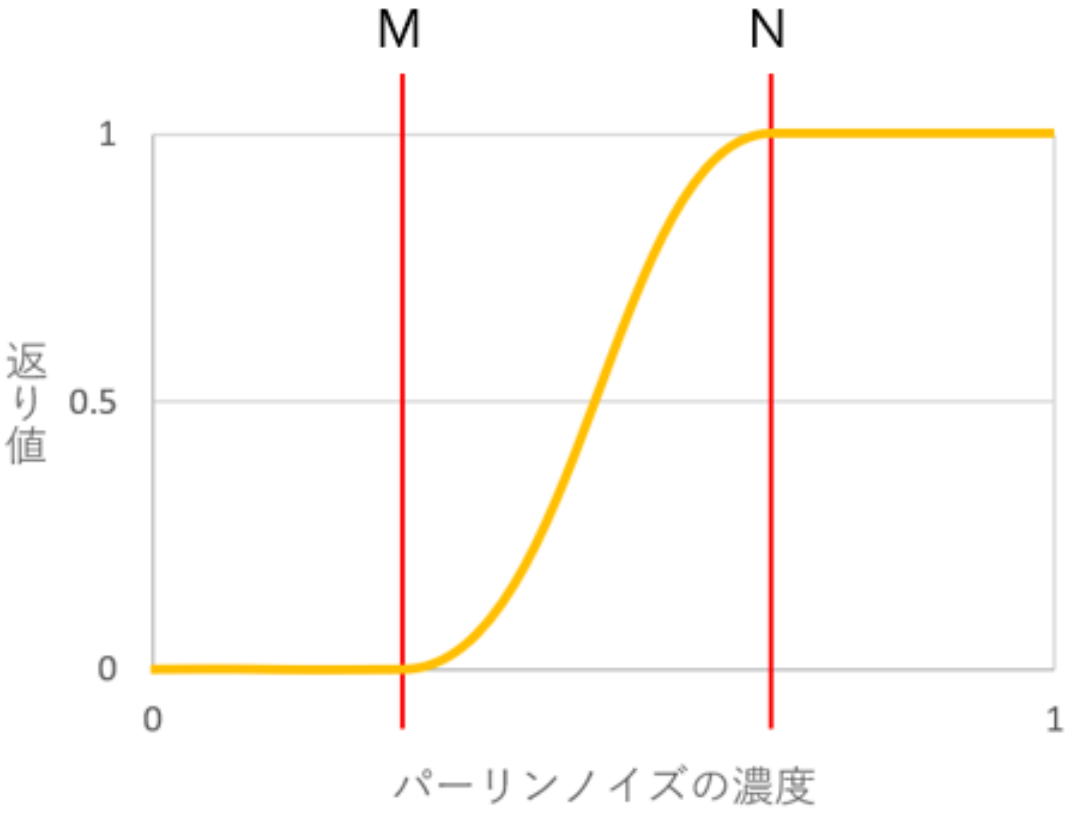

図 2.9　Smoothstep

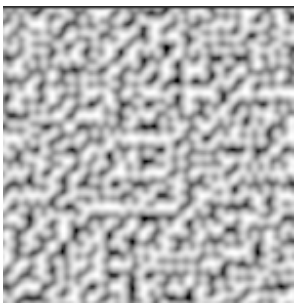

図 2.10　マスクに使用するパーリンノイズ

図 2.11　Smoothstep を施したパーリンノイズ

次に用意した 2 枚のテクスチャをそれぞれタイリングする。以降の説明ではテクスチャ 1、2 とする。ここまででテクスチャ 1、2 のタイリング面が 2 つ、加工を施したパーリンノイズが 1 つできている。テクスチャブレンドの手法に則り、図 2.12 のようにテクスチャ 1、2 のタイリング面をパーリンノイズのマスク画像 N の濃度で線形補間していく。これにより 2 つのテクスチャそれぞれの模様がパーリンノイズによってまばらに表出されるのである。既存手法ではテクスチャ 1、

2 をマスク画像を用いてブレンドした後、ブレンド後のテクスチャをタイリングしている。対して本手法では、テクスチャ 1、2 をそれぞれタイリングした状態を 1 つ面と見立て、そのタイリング後の面同士に対してマスク画像を用いてブレンディングを行っている。これによりノイズ画像の模様がタイルの境界線で変わってしまうことがなくなる。図 2.13 はこれまでの処理を施した途中結果である。

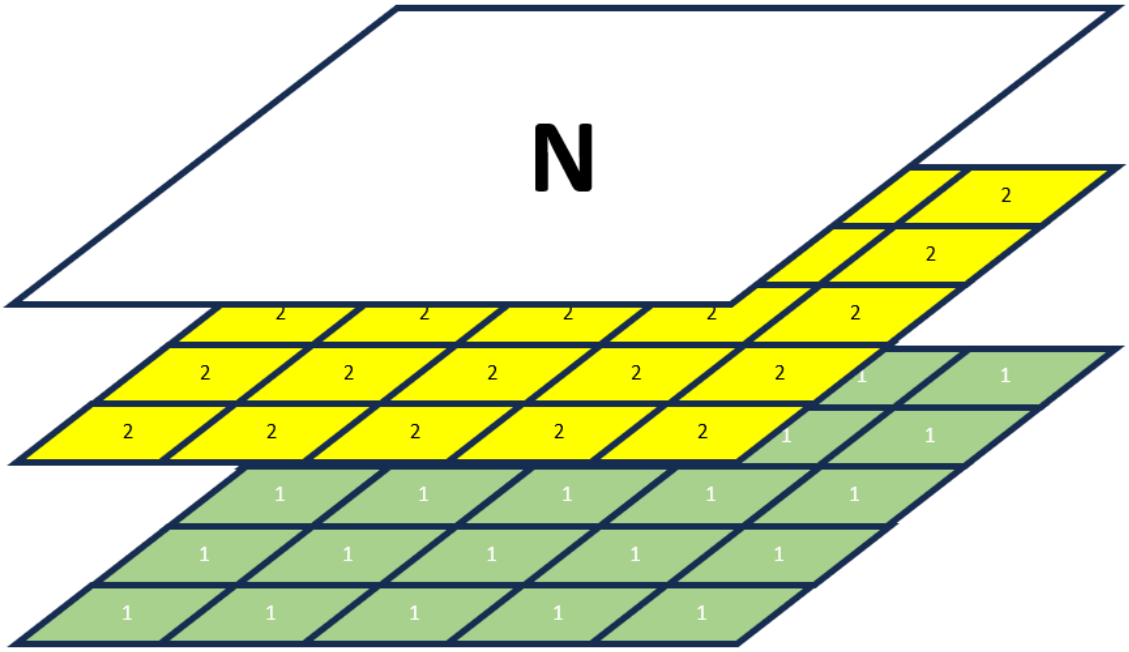

図 2.12　テクスチャブレンドの図

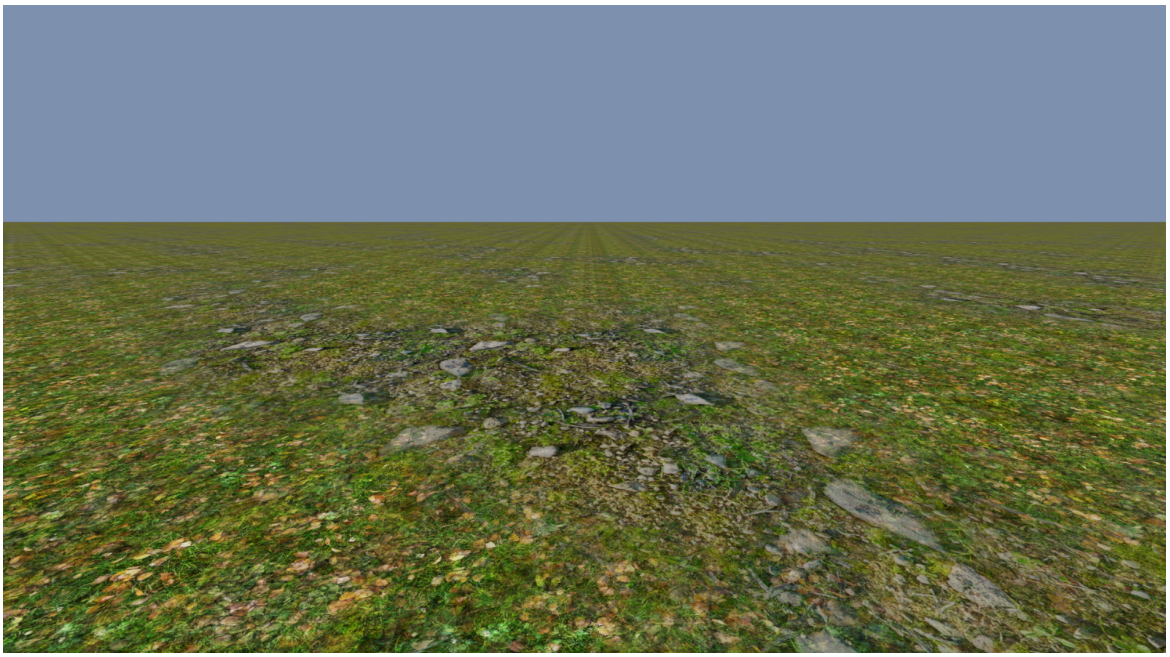

図 2.13　途中結果

2.4　遠景の描画処理

前節での処理により近景での繰り返し感はある程度改善可能だが、このままでは遠景の方でタイルの境界の線が見えてしまう。この線をできるだけ目立たなくするために遠景用の処理を追加する。以降の説明では 2.3 節での処理によってできた面を A とする。

まず遠景描画処理ではテクスチャ 1,2 を用いて A とは異なる面 B を生成する。矩形ポリゴンに張り付けるテクスチャをタイル毎にランダムな角度で回転する。タイリング後に同位置になるテクスチャ 1 と 2 は同じ回転角度を適用する。2.3 節と同様に、回転後のテクスチャを張り付けたタイルをタイリングしマスク画像を用いてブレンドした面を B とする。図 2.14 のようにタイル内のテクスチャを回転させた際にできる四隅のテクスチャが反映されない部分に関しては、テクスチャが反映されていない当該画素に最も近いテクスチャの画素値を適用する。図 2.15 は B を生成する際、タイル毎にランダムな回転値を設定したものの例である。

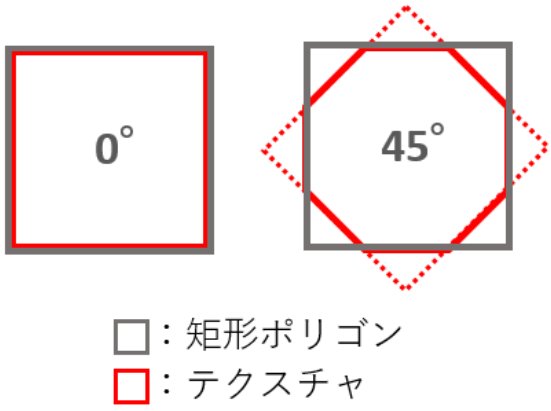

図 2.14　タイルでのテクスチャの回転

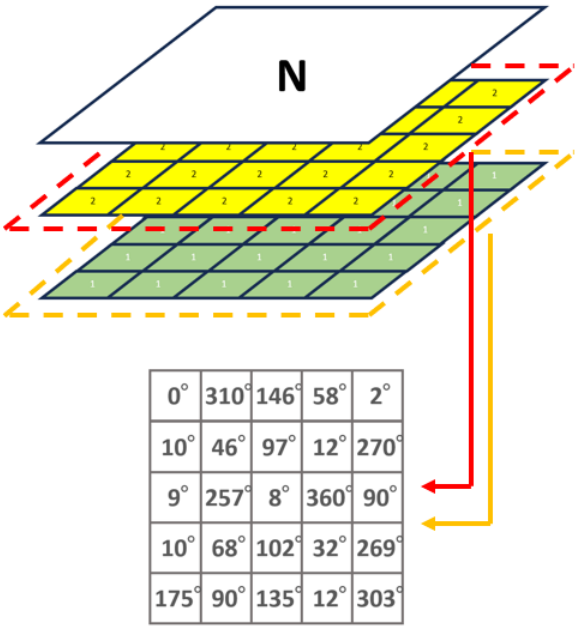

図 2.15　タイル毎にランダムな回転値を設定した例

そしてここまでの工程で生成した A と B を、カメラからの距離に応じて滑らかに切り替える。カメラ位置を基準として一定距離を L(0 <L) とする。L は任意に設定できる値である。カメラ位置を 0、L を 1 とし、L までの領域では A と B の 2 つの面を線形補間して画素値を求める。L 以上の区間では遠景の B をそのまま描画面として用いる。これによりカメラからの距離が L に近づいていくと滑らかに B の描画に切り替わっていき、L 以上となった時完全に B の描画に切り替わるようになっている。これらの説明を図で表すと図 2.16 のようになる。横軸のカメラからの距離が 0 の場合、A が 100% の割合で表示され、カメラからの距離が L の半分になった時 A と B は 50% ずつの割合で表示され、カメラからの距離が L 以上となった時、B が 100% の割合で表示される。図 2.17 は遠景処理を施した結果となっている。

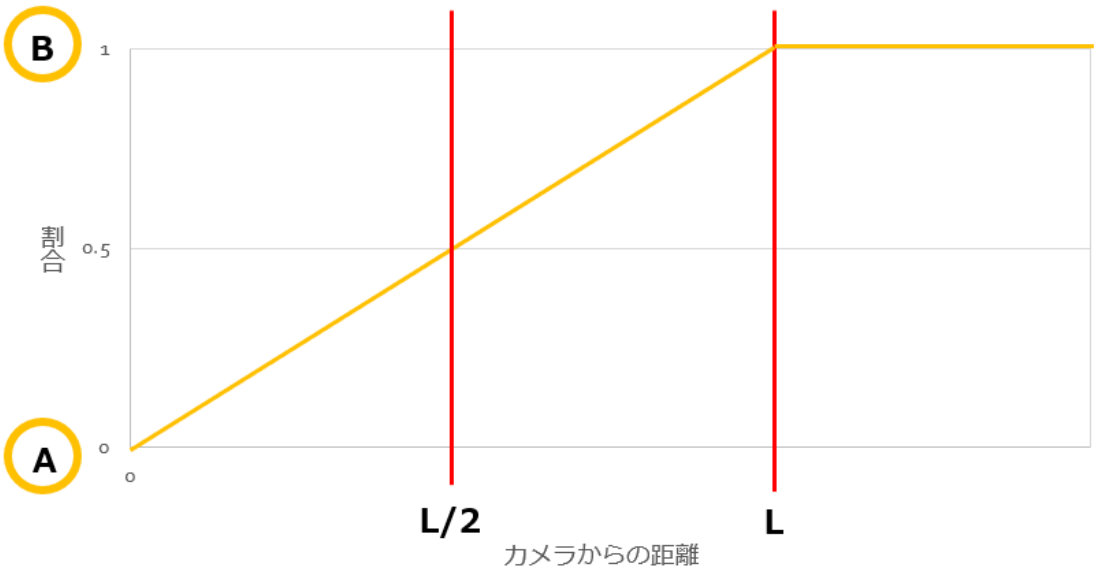

図 2.16　面 A と面 B の線形補間

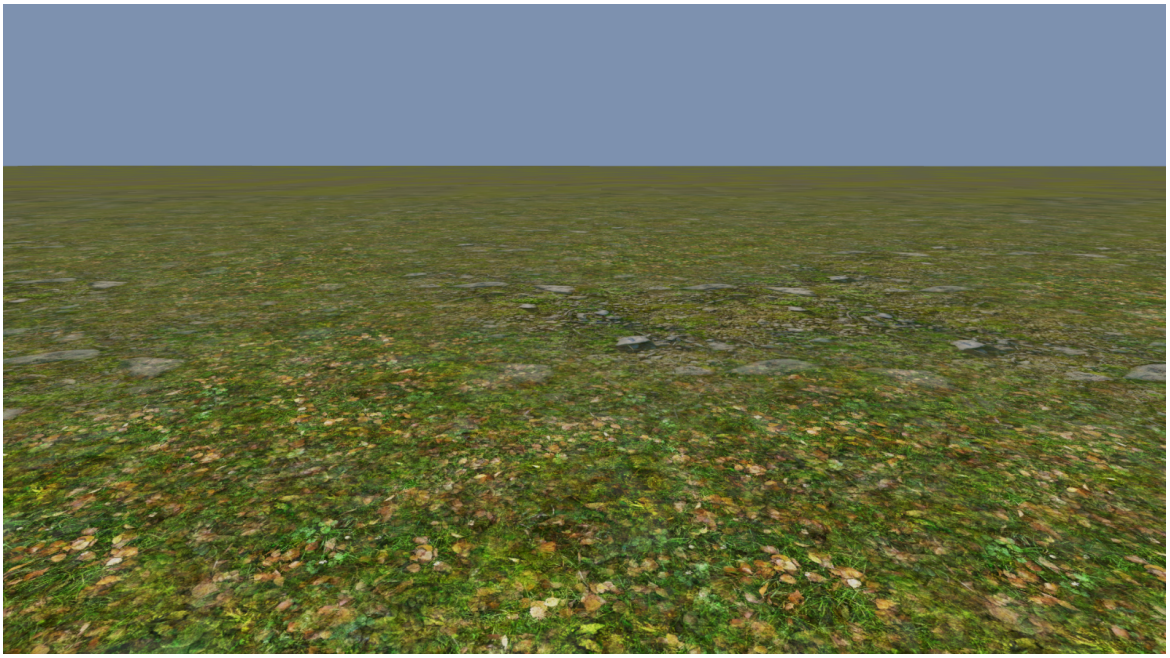

図 2.17　遠景での処理を施した結果

2.5　パラメータによる調整

この手法では以下の 3 つのパラメータを変更することによってある程度の見た目の調整ができる。

- エルミート補間を行う幅
- ノイズのスケール値
- 遠景描画に切り替わる距離

2.5.1　エルミート補間を行う幅

この値は調整することによってどちらのテクスチャの模様を多く出すかを決めることができる。図 2.18 〜 2.20 は値の幅を順にずらしていった結果である。

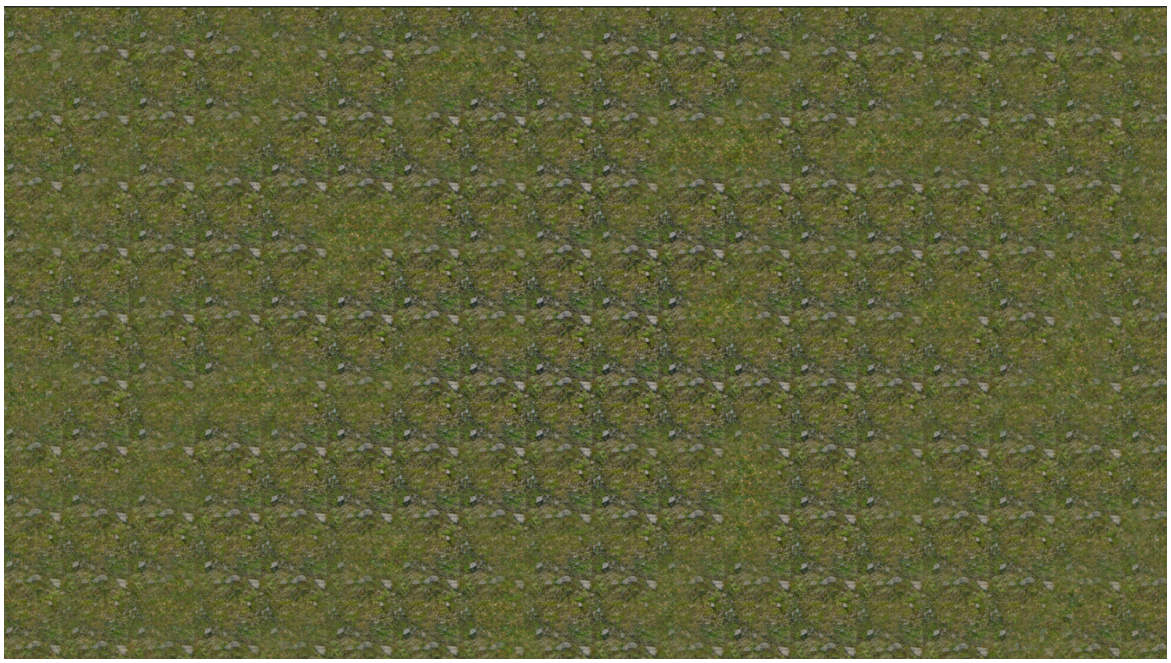

図 2.18　幅 (0.0 〜 0.5)

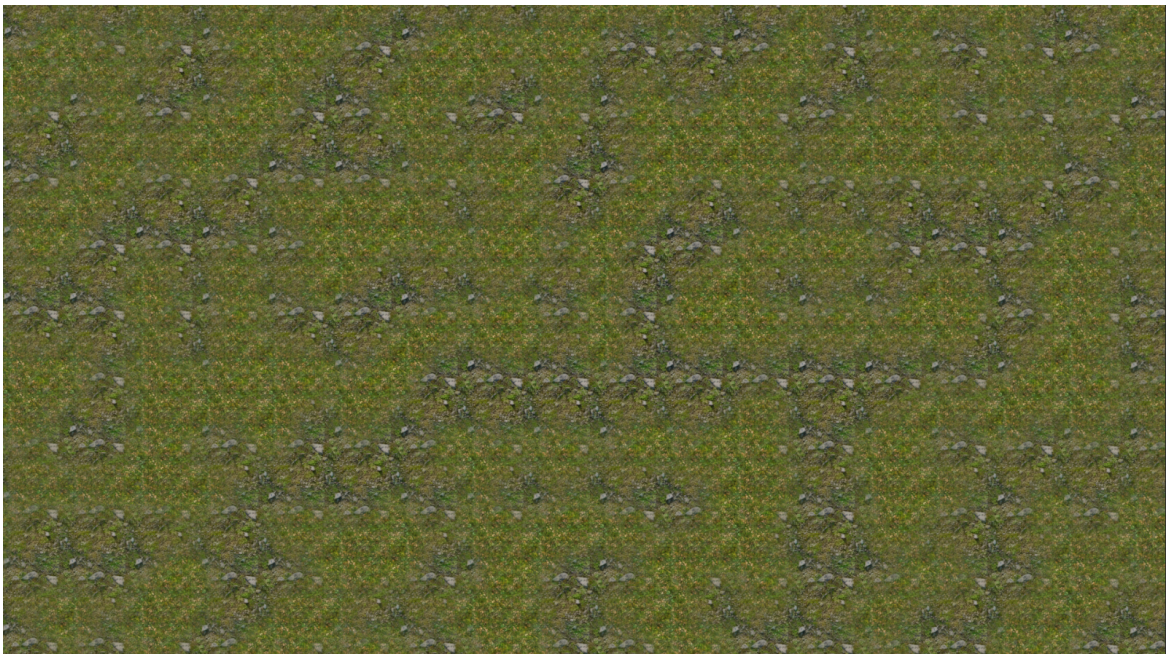

図 2.19　幅 (0.25 ～ 0.75)

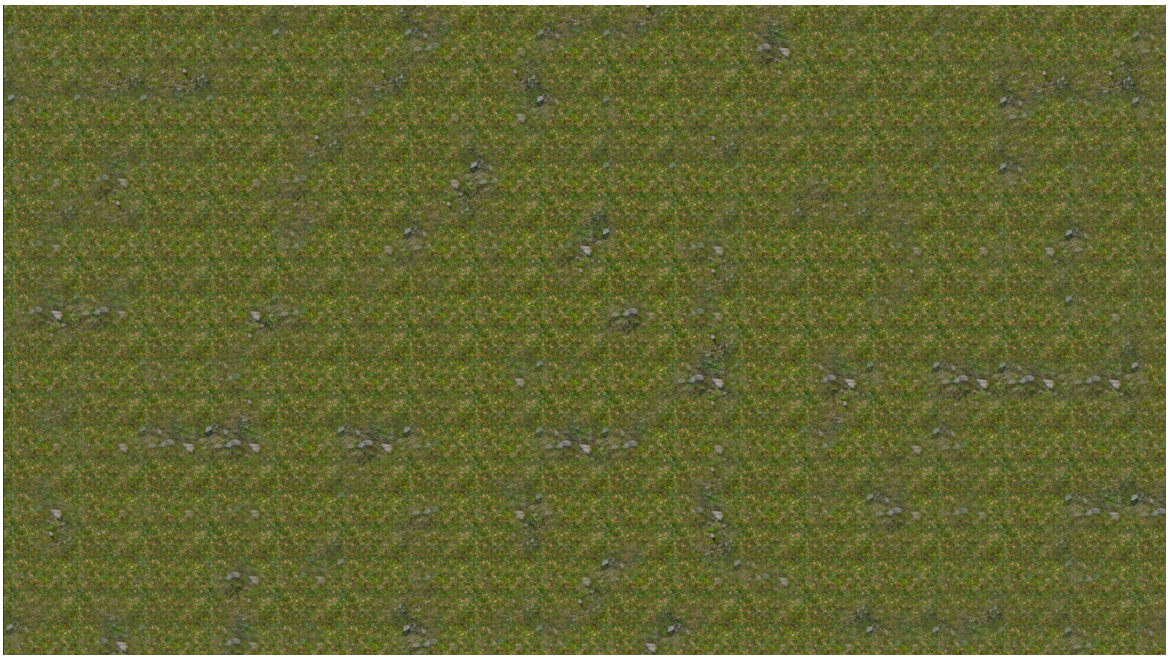

図 2.20　幅 (0.5 ～ 1.0)

2.5.2　ノイズのスケール値

この値はノイズの模様の細かさを調整することが出来る。ただしこの値は小さすぎると部分的な模様が大きくなってしまい、結果的に同じテクスチャが連続で表示されてしまうことになる注意が必要である。図 2.5.2 〜 図 2.5.2 は Scale 値の比較結果である。

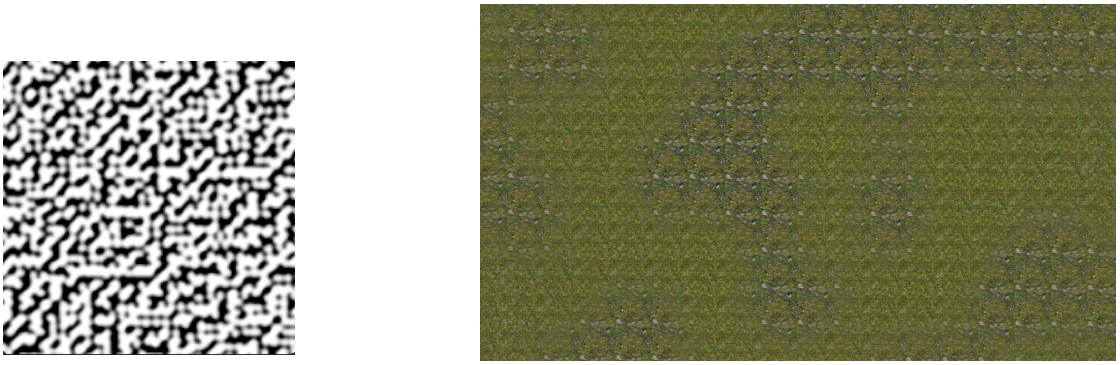

図 2.21　scale 値:30

図 2.22　scale 値:100

2.5.3　遠景処理に切り替わる距離

この値は遠景に見えてしまう線を消すための遠景処理を施す距離を調整することが出来る。使うテクスチャによって遠景に出てしまう線の出やすさが違うため、テクスチャごとに注意深く調整する必要がある。図 2.23 〜 図 2.24 は距離を調整した比較結果である。

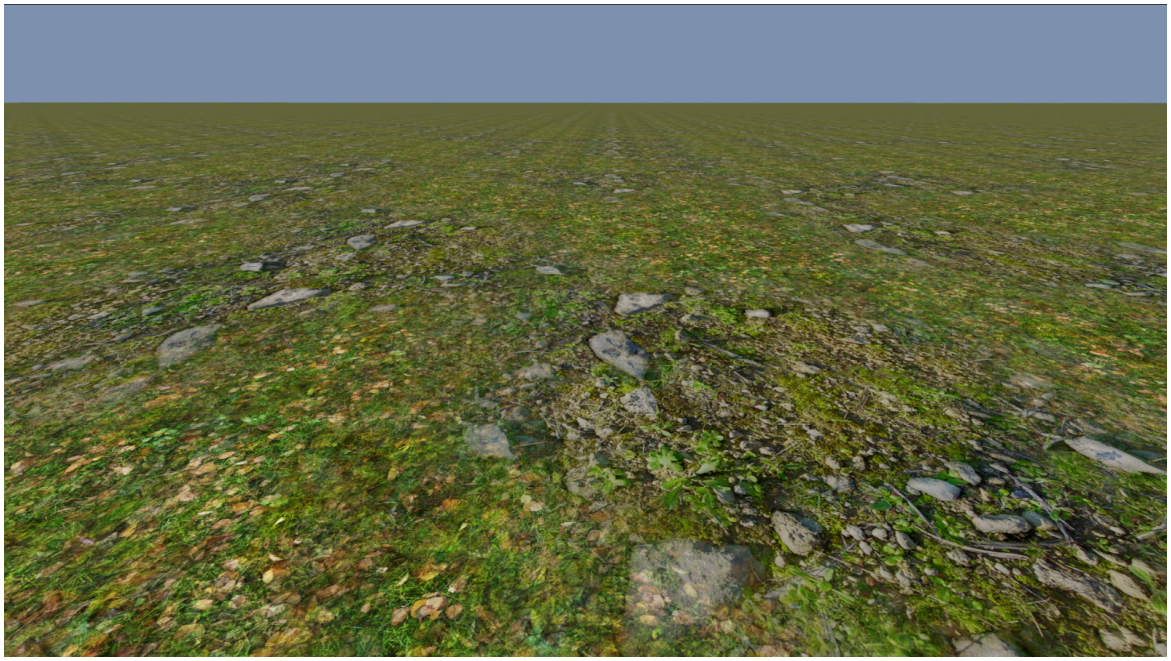

図 2.23　カメラからの距離:250

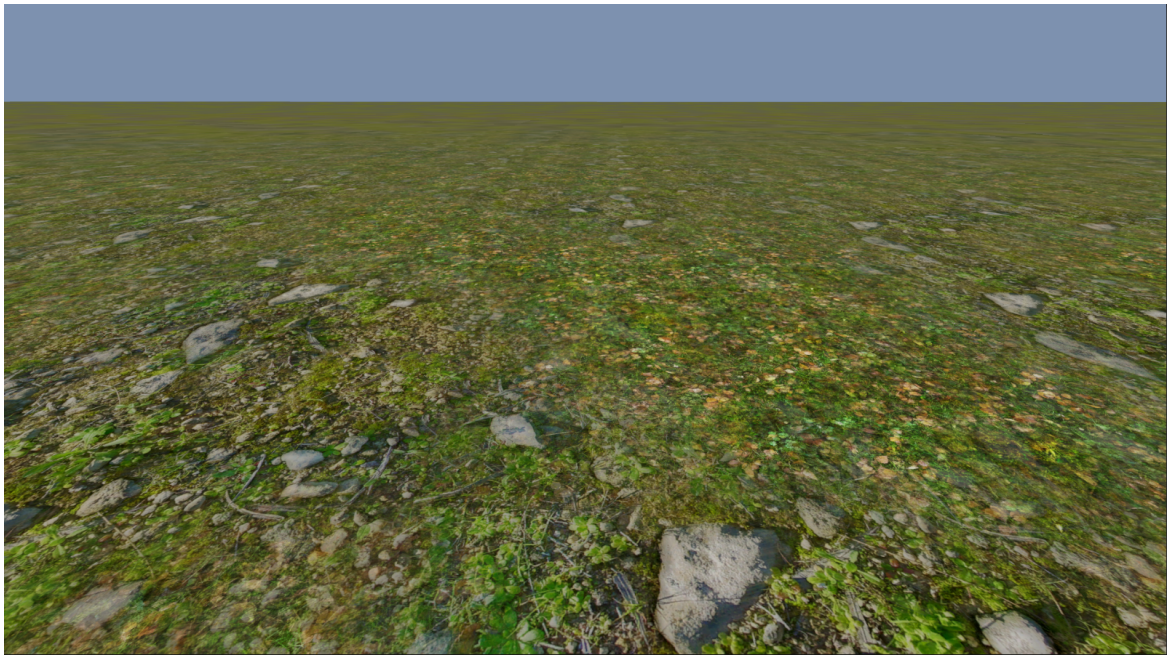

図 2.24　カメラからの距離:50

第 3 章

評価と分析

本章では従来のタイリング手法との比較や、様々なテクスチャでの実行結果、考察について述べる。またパラメータを表す際、エルミート補間の幅は M、N、パーリンノイズの Scale 値は S、遠景の描画処理に切り替わる距離を L とする。

3.1 通常のタイリング手法との比較

本手法を施した結果、通常のタイリングを行った図 3.1 に見られるような繰り返し感は図 3.2 でかなり改善された。具体的に説明すると遠景で見えてしまう線がかなり見づらくなっている。また近影の方ではパーリンノイズをマスク画像として使っているため、同じ模様が繰り返し表示されているような見た目も改善されている。図 3.2 は本研究手法を施した結果であり、図 3.3 はそれを上から見た様子である。図 3.2 のパラメーターは M:0.276、N:0.576、S:82.9、L:67.3 となっている。

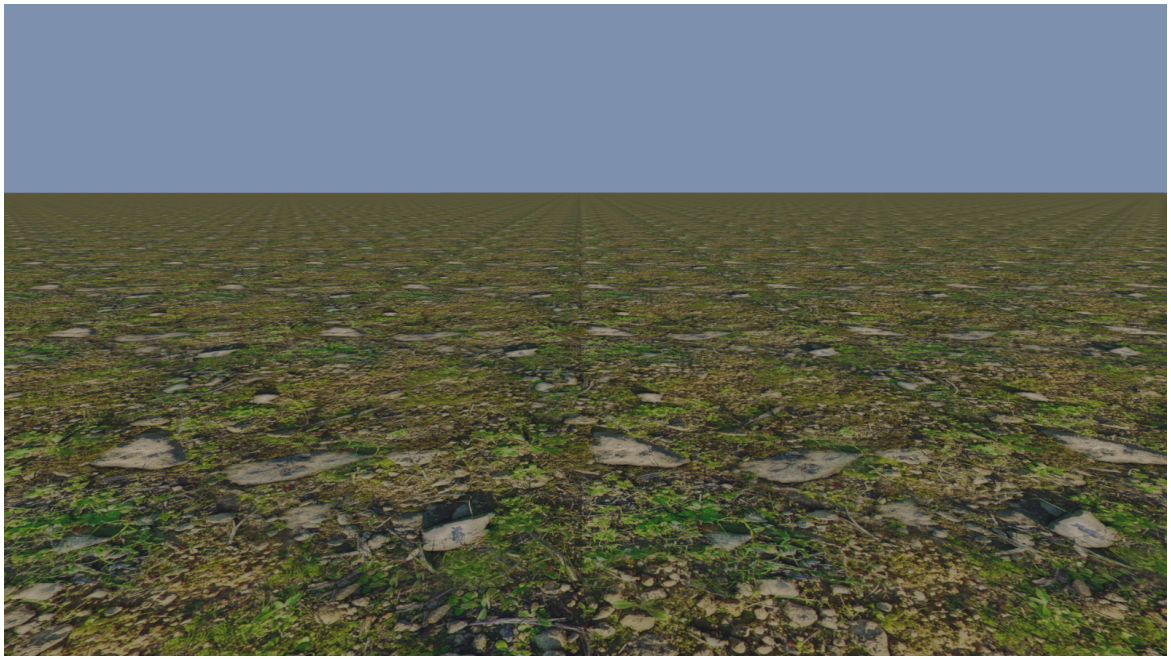

図 3.1　通常のタイリング

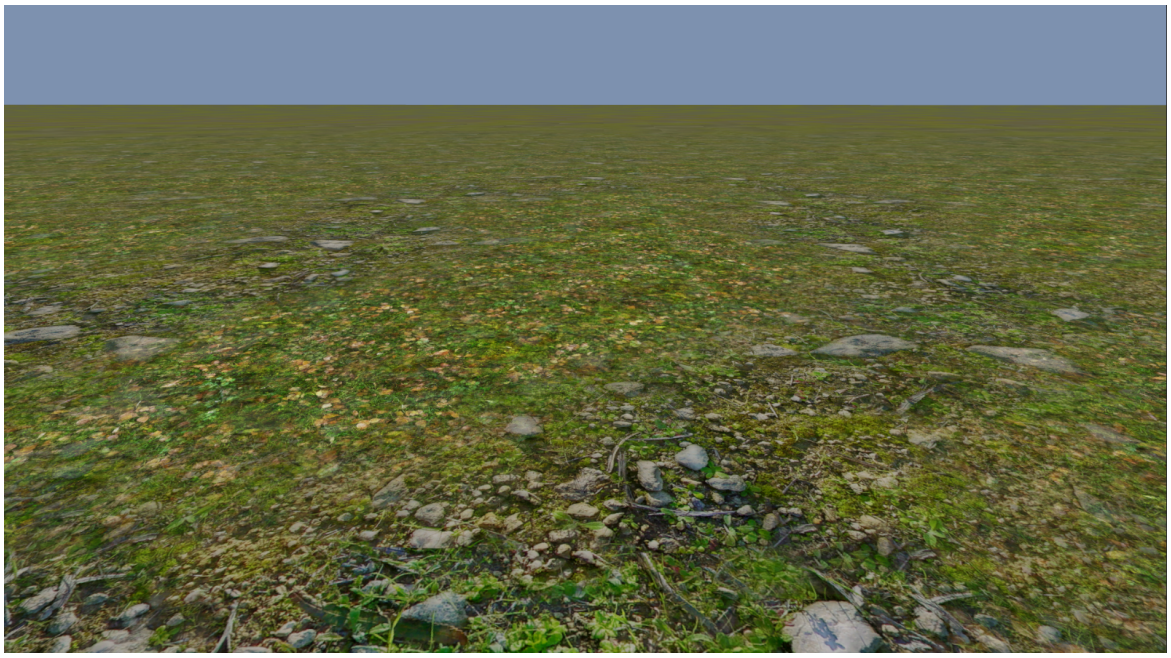

図 3.2　研究手法を施したタイリング

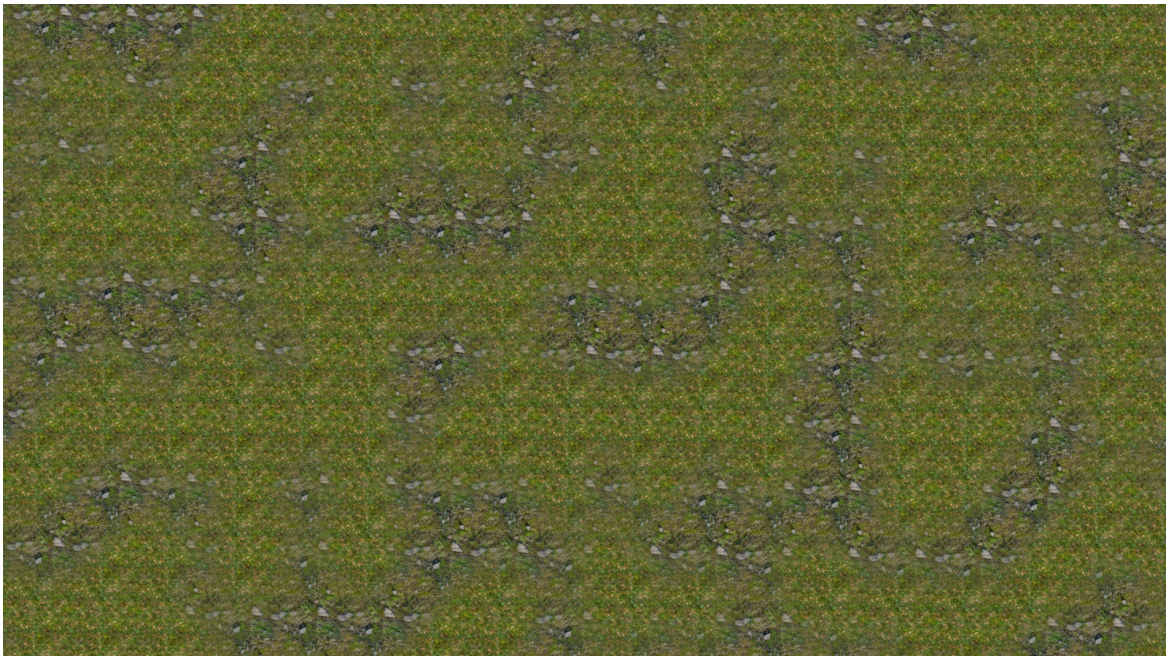

図 3.3　図 3.2 の俯瞰視点

3.2　調整が上手くいかない例

パラメータの調整が上手くいかなかった場合が図 3.4 で、その俯瞰視点が図 3.5 である。調整できるパラメータの内、見た目に大きく影響するのが S と L であり、S は適切に設定しなければパーリンノイズの模様が大きくなってしまい、その分同じテクスチャの模様が連続で並んでしまう部分が増えてしまう。また L も適切に設定しなければ、遠景処理に切り替わる距離が遠い場合、遠景でのテクスチャの境界線が目立ってしまう。

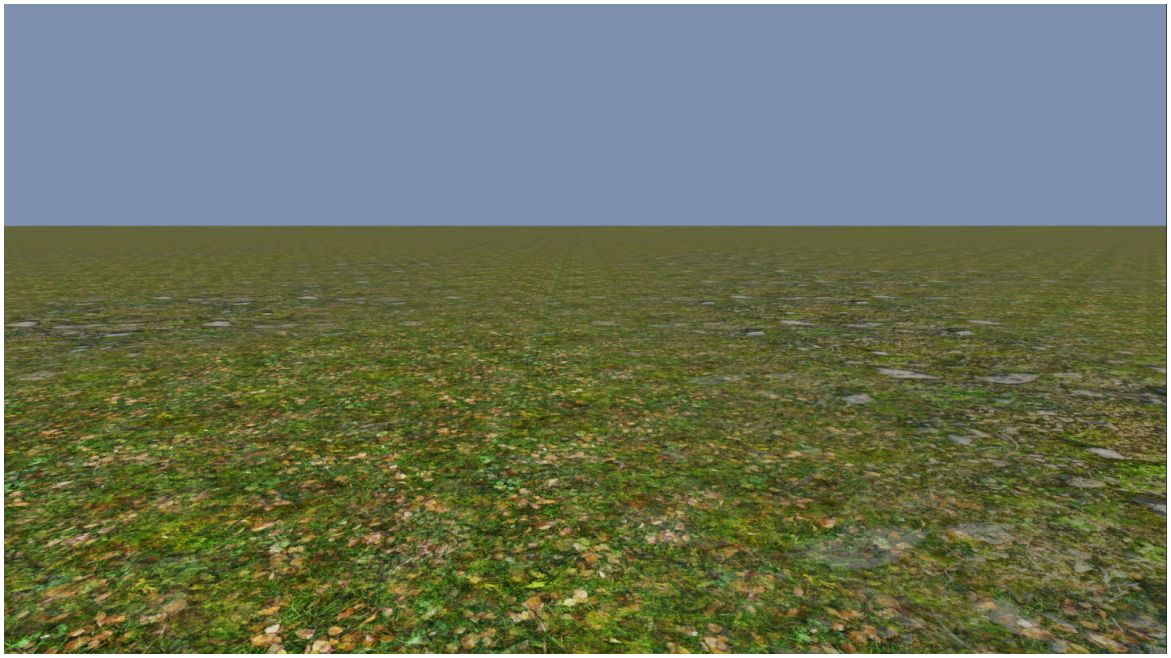

図 3.4　上手くいかなかった例

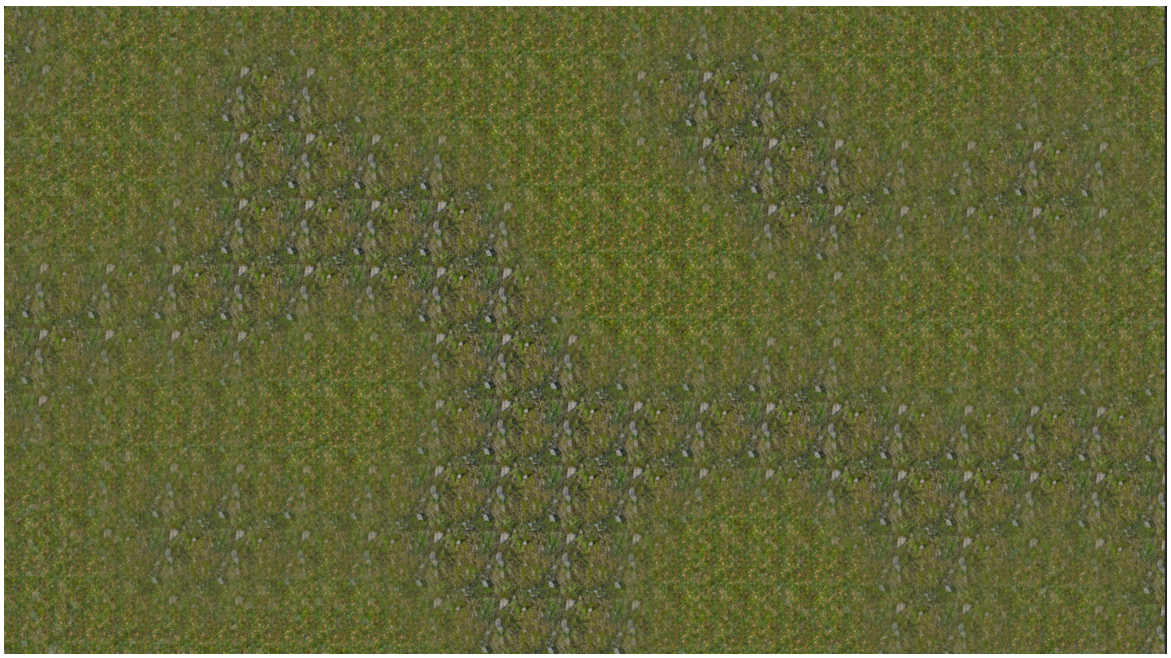

図 3.5　図 3.4 の俯瞰視点

3.3　他のテクスチャでの実行結果

この節では様々なテクスチャでの実行結果を載せていく。詳しくは後述するが見た目を調整するパラメータはいくつかあり、ここに載せている実行結果はそれぞれのテクスチャに合わせてパラメータを調整したものとなっている。結果から述べると自然物のテクスチャであれば基本的にどのテクスチャでも繰り返し感の軽減が出来ていることが見て取れる。カートゥーン調のテクスチャでもこれといった問題点は特に見られなかった。

3.3.1　土系のテクスチャによるタイリング

図 3.9 のパラメーターは M:0.268、N:0.768、S:100、L:51.1 となっている。

図 3.6　土系のテクスチャ 1

図 3.7　土系のテクスチャ 2

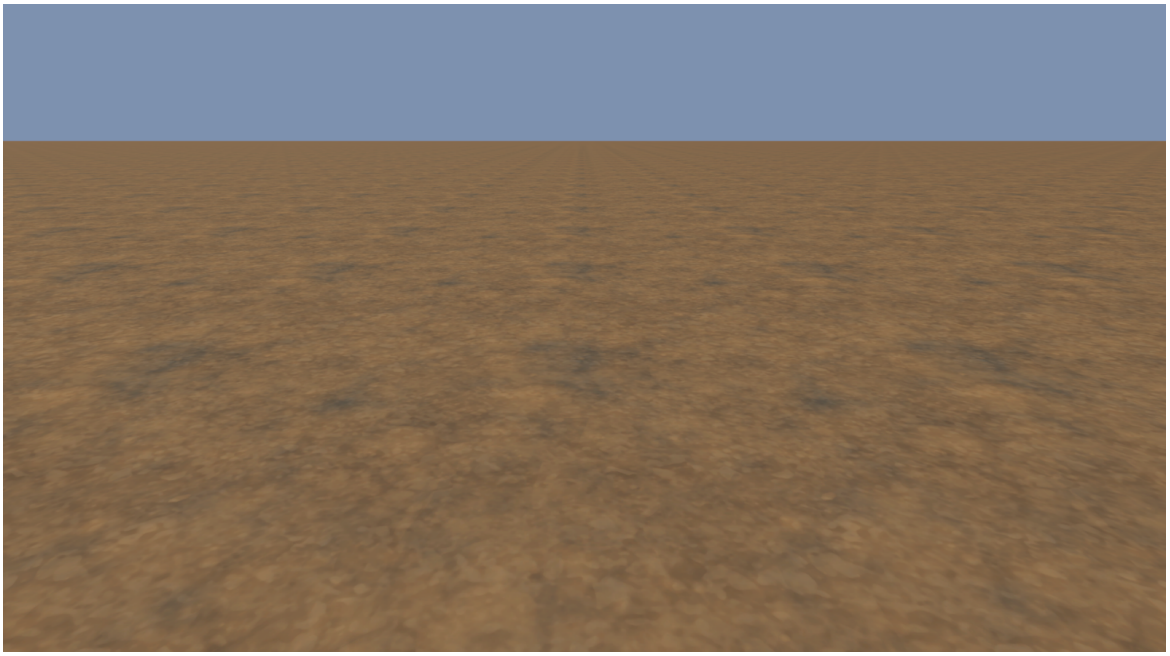

図 3.8　従来のタイリング

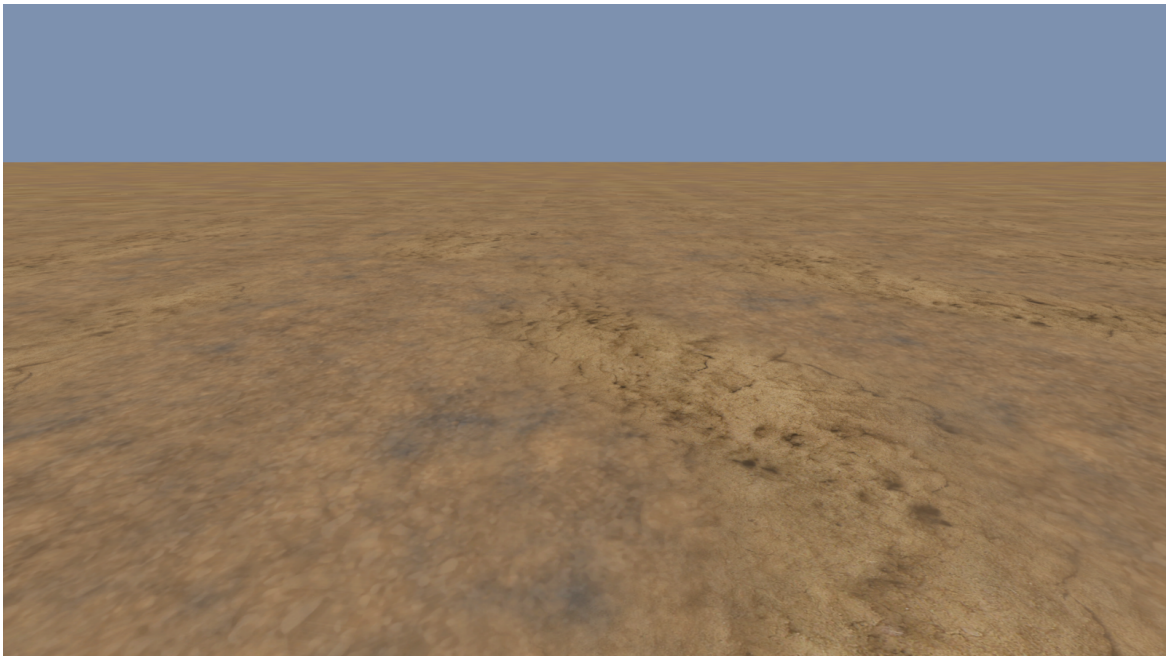

図 3.9　研究手法によるタイリング

3.3.2　草系のテクスチャによるタイリング

図 3.13 のパラメーターは M:0.25、N:0.75、S:100、L:46.5 となっている。

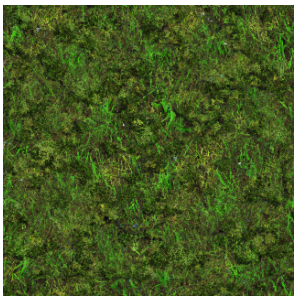

図 3.10　草系のテクスチャ 1

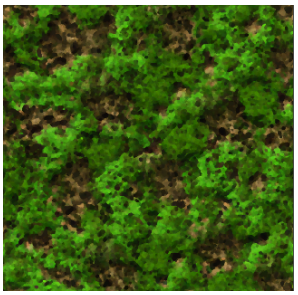

図 3.11　草系のテクスチャ 2

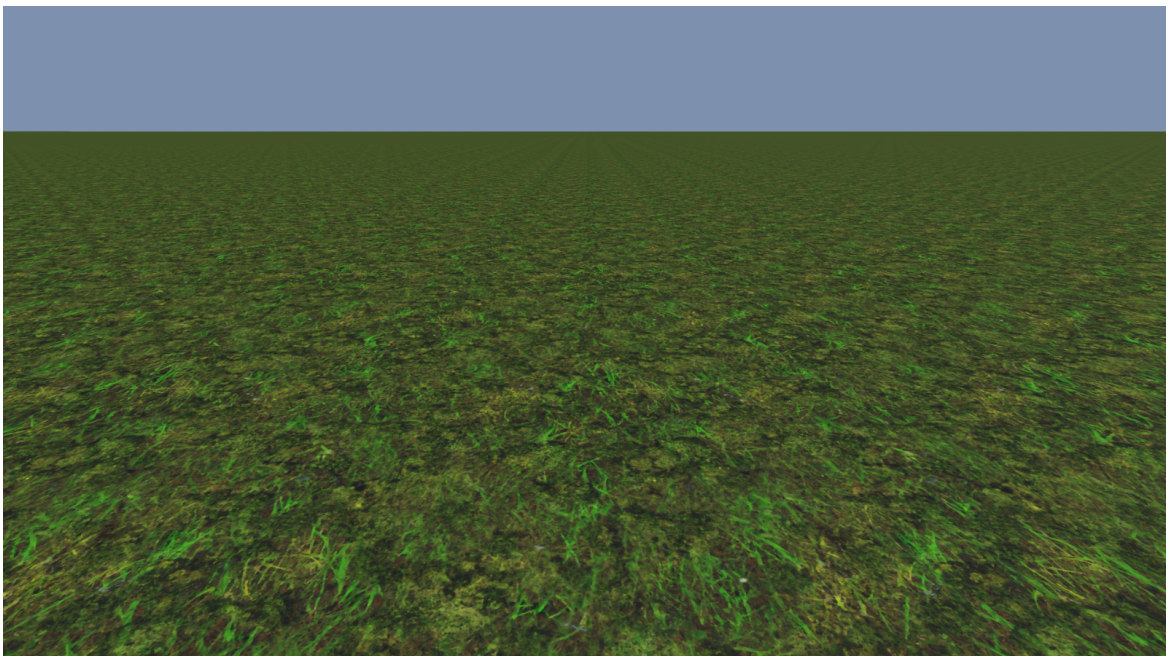

図 3.12　従来のタイリング

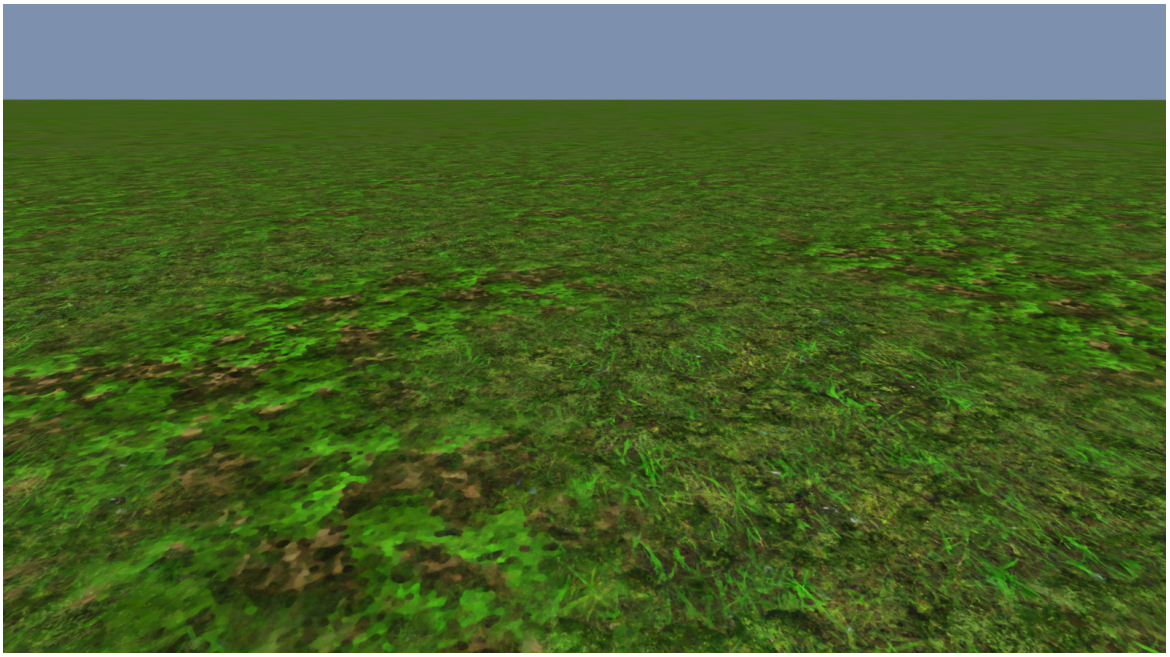

図 3.13　研究手法によるタイリング

3.3.3　荒地の様なテクスチャによるタイリング

図 3.17 のパラメーターは M:0.25、N:0.75、S:75.57、L:71 となっている。

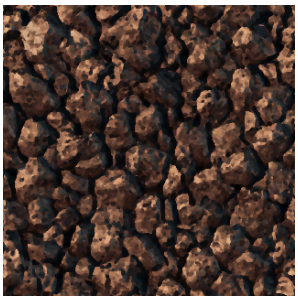

図 3.14　荒地系のテクスチャ 1

図 3.15　荒地系のテクスチャ 2

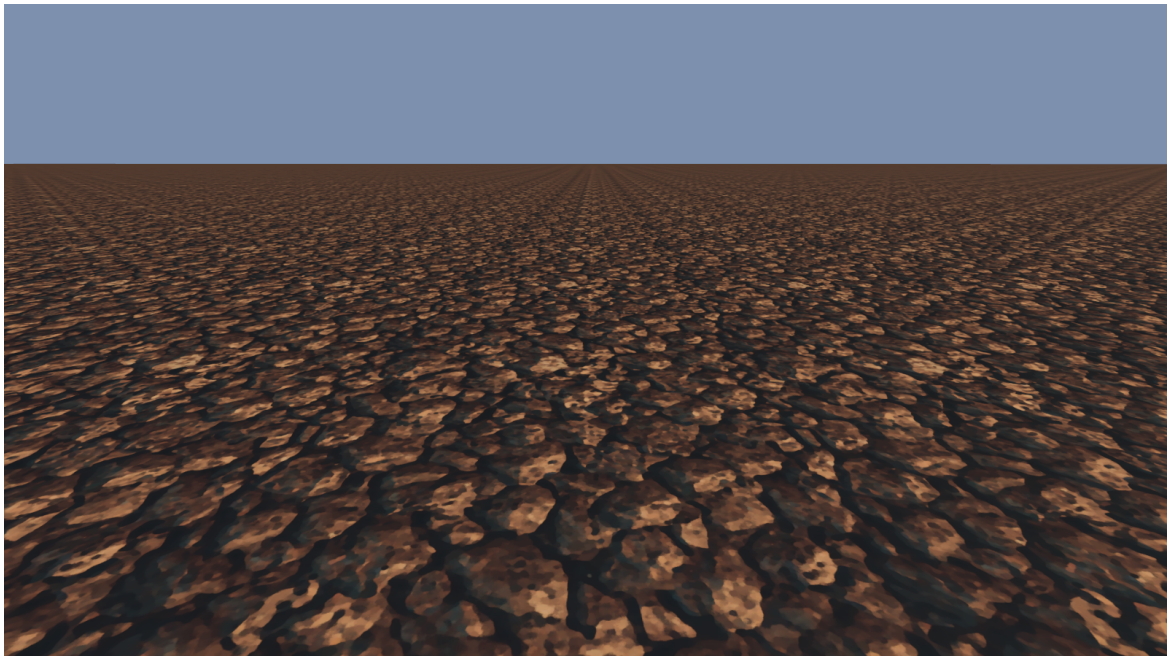

図 3.16　従来のタイリング

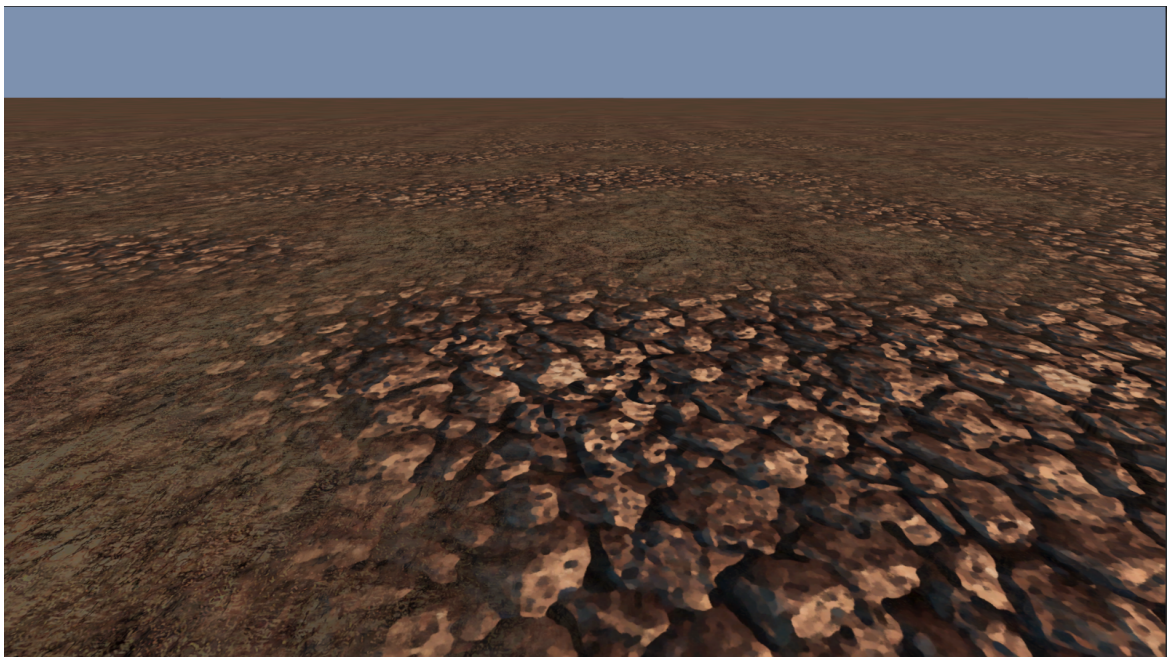

図 3.17　研究手法によるタイリング

3.3.4　カートゥーン調のテクスチャによるタイリング

図 3.21 のパラメーターは M:0.215、N:0.715、S:94.72、L:92.7 となっている。

図 3.18　カートゥーン調のテクスチャ 1

図 3.19　カートゥーン調のテクスチャ 2

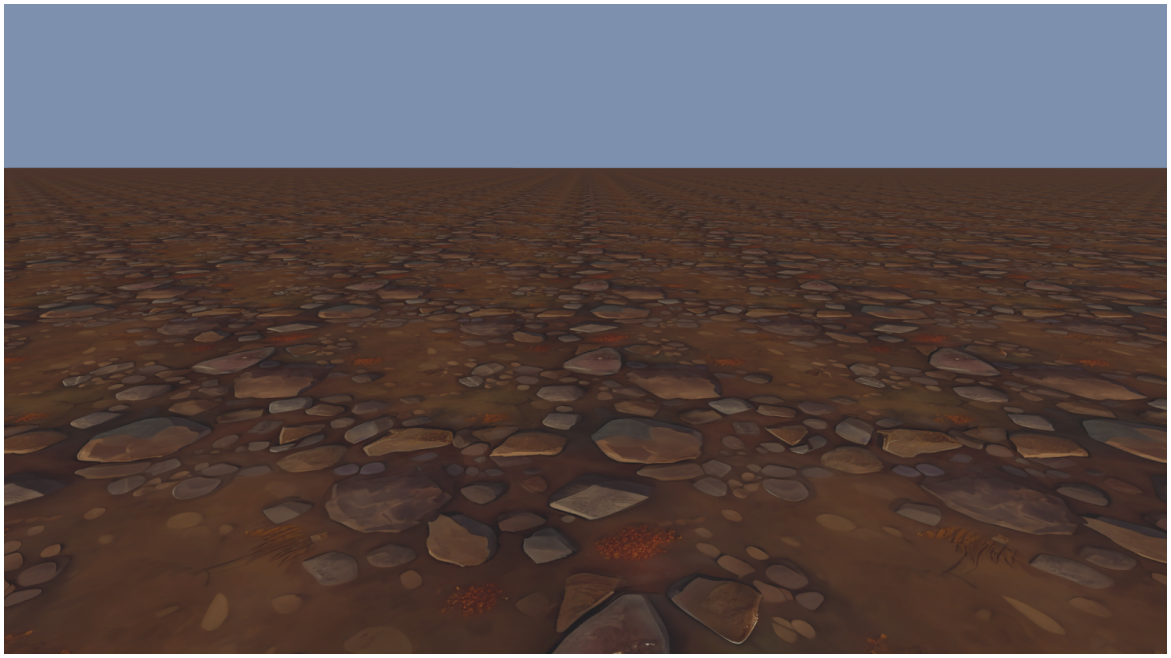

図 3.20　従来のタイリング

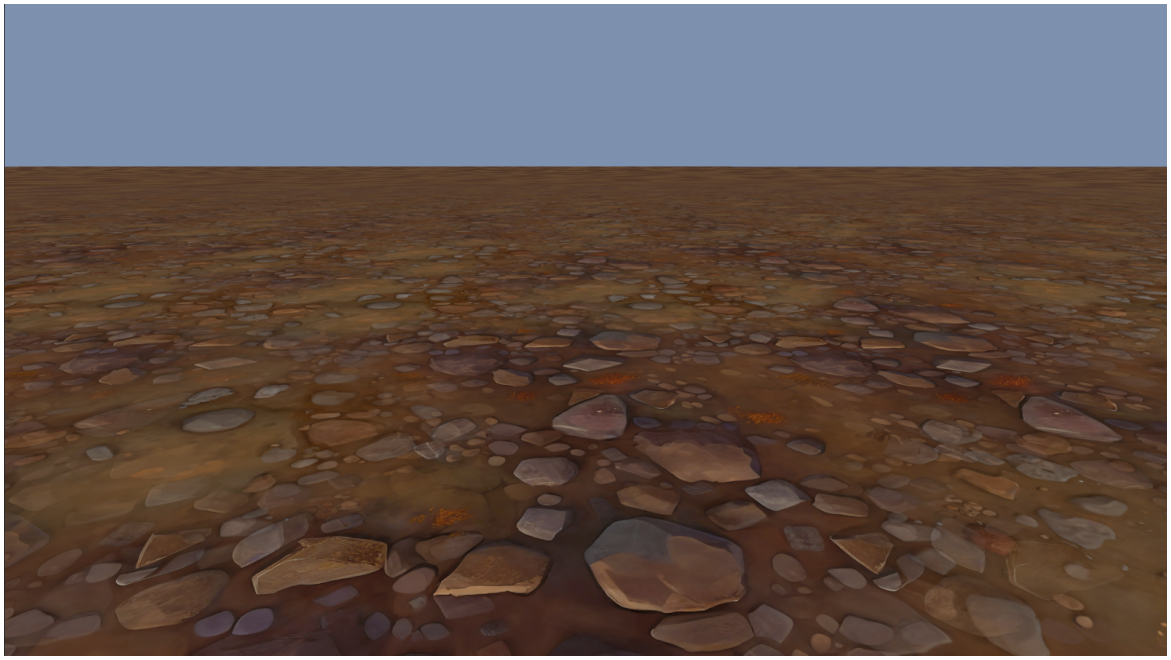

図 3.21　研究手法によるタイリング

3.4　考察

この手法の長所は以下の 4 つが挙げられる。

- 比較的単純な方法で実現できる
- パラメータによる調整ができるため調整がしやすい
- カメラが地面に近いゲームにおいて効果的
- 見下ろし視点でもそれなりの効果がある

本手法では基本的に 2 枚のテクスチャをタイリングさせパーリンノイズでマスクをしているだけなので、特に難しい要素も数式も必要なく拡張や応用が容易である。また最終的にできたタイリングもパラメータの調整によりある程度好みの見た目に変えることができるため融通が利きやすい。

プレイヤーが地面で歩いてそれを近くからカメラで写すようなゲームであればタイリングの繰り返し感はほぼ改善できているといえる。特に遠方で見えてしまうタイルの境界線がほぼ見えなくなっているためタイルが並んでいるような見え方も改善されている。ただ見下ろし視点の場合、

模様の繰り返し感はどうしてもでてしまい人によっては気になる場合もあるが、パーリンノイズのスケールを調整すればある程度は改善することができる。

そしてこの手法の短所では以下の 3 つが挙げられる。

- タイリングに使う色味の似た 2 枚のテクスチャを用意する必要がある
- ブレンドした際の結果が予想しづらい
- 高い視点から見たとき遠方ではノイズの模様が見えてしまう

本手法の場合、2 枚のテクスチャを用意する必要があるため Morten ら [16] の手法や Eric ら [19] の手法、Voronoi テクスチャを使う手法 [17] に比べると準備にかかる手間が一つ多くなってしまう。また用意する 2 枚についても色味を合わせる必要があり、色味が違うものを使った場合テクスチャによってはパーリンノイズの模様がはっきりと見えてしまう。かといって色味が似たテクスチャを用意してもブレンドした時の結果、特に最終的な色味の予想は難しくなっている。そのため用意したテクスチャの色彩を動的に調整できるような環境が必要になる。またカメラが地面に近い場合は効果的な本手法だが高い視点から俯瞰するような画面になったとき遠方の方では図 3.22 のようにパーリンノイズの模様が見えてしまう。これは遠景処理を施す距離の調整である程度調整することができるが、距離が近くする場合は模様が見えてしまい、遠くするとノイズのスケール値によってはテクスチャの繰り返し感が目立ってしまうため高い視点に関しては本手法ではあまり有効ではない。

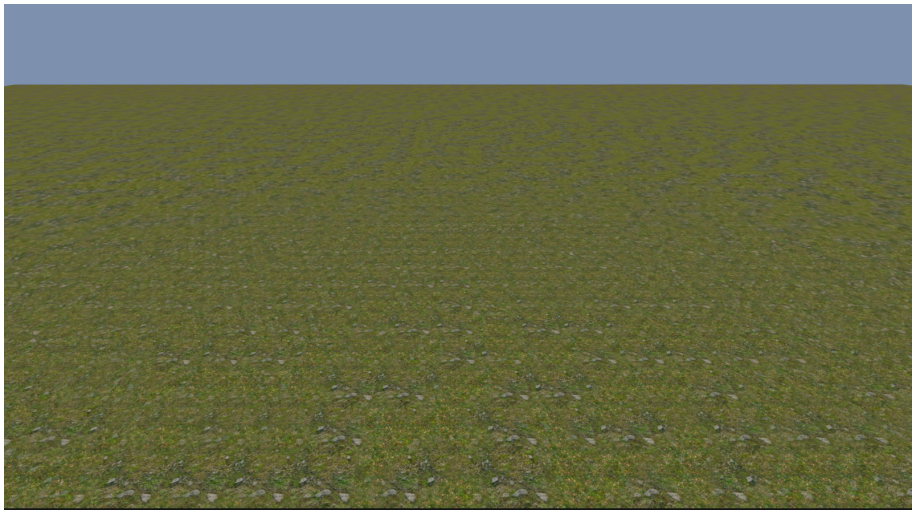

図 3.22　遠方に見えるパーリンノイズの模様

第 4 章

まとめ

近年ではハードウェアの性能が上がり、広大な地形を自由に移動できるオープンワールドゲームが増えてきた。それに伴い広い地形に対してテクスチャを適用する機会も増えてきたが、従来のタイリング手法では地形が広くなるにつれて繰り返し感が出てしまうため、それを改善する必要がある。本研究手法では 2 つのテクスチャを合成して自然な見た目にするテクスチャブレンド手法を応用し、用意した 2 枚のテクスチャのそれぞれのタイリング面同士を、パーリンノイズの明度でエルミート補間をし、模様をまばらに表出させた。加えて遠景で見えてしまうタイルの境界線は、カメラから一定の距離以上のタイルの中のテクスチャをランダムに回転させることにより殆ど消すことができた。しかし本手法では 2 枚のテクスチャをブレンドする都合上、ブレンドした結果の見た目、特に色味が予想しづらい問題がある。また高い視点から俯瞰するようなカメラの場合、遠方の方ではパーリンノイズの模様が見えてしまうため、カメラが地面から近いゲームでこの手法を使うことが好ましい。

謝辞

本研究を進めるにあたり多くのご指導やアドバイスをしてくださった渡辺先生、阿部先生に感謝したいと思います。特に自分はテーマの決定が遅くなかなか決まらず、卒業できないんじゃないかとかなり焦っていたころ、研究とはどういったものなのか、テーマの選び方などを丁寧にご指導くださった渡辺先生に感謝しています。また論文の書き方についてたくさんの質問をして懇切丁寧にご指導くださった阿部先生にも本当に感謝しています。

コロナ禍で学生生活の半分くらいが大学に来れない世代でしたが、多くを学び、沢山の濃い経験ができ、良い人達に恵まれ本当に楽しい大学生活でした。全てのものに感謝です。本当にありがとうございました。

参考文献

[1] Sony. Death stranding. https://www.playstation.com/ja-jp/games/death-stranding/. 参照: 2023.12.24.

[2] Inc. © Bandai Namco Entertainment Inc. / © 2023 FromSoftware. Elden ring. https://www.eldenring.jp/index.html. 参照: 2023.12.24.

[3] Microsoft. Minecraft. https://www.minecraft.net/ja-jp. 参照: 2023.12.24.

[4] Nintendo. ゼルダの伝説 ブレス オブ ザ ワイルド. https://www.nintendo.co.jp/zelda/botw/index.html. 参照: 2023.12.24.

[5] Bethesda. The elder scrolls. https://elderscrolls.bethesda.net/ja. 参照: 2024.2.8.

[6] Warner Bros. Hogwartslegacy. https://www.hogwartslegacy.com/ja-jp. 参照: 2024.2.8.

[7] 安居院猛, 宮田一乗, 中嶋正之. 三次元山岳形状の等高線からの自動作成法. 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. 69, pp. 1905–1912, 1986.

[8] 張志毅, 今野晃市, 徳山喜政. 周期的 b-spline 曲線を利用した山岳地形の 3 次元モデル生成手法. 情報処理学会研究報告グラフィクスと CAD(CG), No. 86, pp. 1–6, 1986.

[9] Rui Zhai, Ke Lu, Weiguo Pan, and Shuangfeng Dai. Gpu-based real-time terrain rendering: Design and implementation. *Neurocomputing*, Vol. 171, pp. 1–8, 2016.

[10] HyeongYeop Kang, Yeram Sim, and JungHyun Han. Terrain rendering with unlimited detail and resolution. *Graphical Models*, Vol. 97, pp. 64–79, 2018.

[11] B. Santerre, M. Abe, and T.Watanabe. Inproving gpu real-time wide terrain tessellation using the new mesh shader pipeline. *Nicograph International 2020*, pp. 86–89, 2020.

[12] 小川和樹. 主曲率による浸食作用を伴う地形自動生成に関する研究. 学部卒業論文, 東京工科大学メディア学部ゲームサイエンスプロジェクト, 2022.

[13] H.Hoppe. Smooth view-dependent level-of-detail control and its application to terrain rendering. *Proceedings Visualization '98*, pp. 35–42, 1998.

[14] 山本馨加, 阿部雅樹, 渡辺大地. テッセレーションシェーダを用いた描画要素数の動的制御による地形描画高速化に関する研究. 情報処理学会研究報告デジタルコンテンツクリエーション (DCC), Vol. 2021-DCC-27, No. 16, pp. 1–8, 2021.

[15] ft lab. 地形での床の繰り返しを美しくなくする (unity). https://www.ft-lab.jp/NaturalTex/tutorial/unity_terrain_ground.html. 参照: 2023.12.24.

[16] Morten S. Mikkelsen. Practical real-time hex-tiling. *Computer Graphics Techniques*, Vol. 11, No. 2, pp. 77–94, 2022.

[17] Magotarou. 【unity】リピート感なしのテクスチャマッピングの再現【blender】. https://mago.hatenablog.com/entry/%E3%80%90Unity%E3%80%91%E3%83AA%E3%83%94%E3%83%BC%E3%83%88%E6%84%9F%E3%81%AA%E3%81%97%E3%81%AE%E3%83%86%E3%82%AF%E3%82%B9%E3%83%81%E3%83%A3%E3%83%9E%E3%83%83%E3%83%94%E3%83%B3%E3%82%B0%E3%81%AE%E5%86%8D%E7%8F%BE. 参照: 2023.12.24.

[18] Sphere Cube.【blender】テクスチャーのリピート感の無いきれいなマッピング（タイリング）方法. https://www.youtube.com/watch?v=t2b6GglgOoE&ab_channel=SphereCube. 参照: 2023.12.24.

[19] Eric Heitz and Fabrice Neyret. High-performance by-example noise using a histgram-preserving blending operator. *Eurographics Symposium on High-Performance Graphics 2018*, Vol. 1, No. 31, pp. 1–25, 2018.

[20] Thomas Deliot and Eric Heitz. Procedural stochastic textures by tiling and blending. 2018.

[21] chikuwa. 【unity シェーダ入門】テクスチャをブレンドして自然な地形を表示する. https://nn-hokuson.hatenablog.com/entry/2016/10/27/185618. 参照: 2023.12.24.