

チュートリアル Pedestrian Dynamics®



チュートリアル Pedestrian Dynamics® 2 シミュレーション ソフトウェア/チュートリアル

〒100-0004 東京都千代田区大手町1-7-2 東京サンケイビル27階
www.pedestrian-dynamics.jp

1 目次

1. 目次 2
2. Pedestrian Dynamics®の概要 3
 - 2.1. Pedestrian Dynamics® 3
 - 2.2. Pedestrian Dynamics®の起動 3
3. 歩行者流動モデルの構築 6
 - 3.1. 環境の描画 6
 - 3.2. 入場と退場 10
 - 3.3. アクティビティロケーション 11
 - 3.4. エージェントは環境を通過する道をどのように決定するのか 12
 - 3.5. エージェントの作成 19
 - 3.6. エージェント プロファイル 23
 - 3.7. レイヤーを使用する 29
4. 避難モデルの作成 39
 - 4.1. アクションタイマー エlement 45
 - 4.2. 非常口として通路 (Passageway) エlementを使用する 50
 - 4.3. 避難モデルでエスカレーターを使用する 52
5. 解析の出力 57
 - 5.1. 駅ホール建設工事 57
 - 5.2. 実験ウィザード 59
 - 5.3. 結果プレーヤー 60
 - 5.4. 頻度マップと密度マップ 61
 - 5.5. フロー カウンター 64
 - 5.6. 面積密度ヒストグラム 65
 - 5.7. 歩行時間 66
 - 5.8. レポート 67
 - 5.9. 基準の決定 68
6. メソシミュレーションとマイクロシミュレーション 69
 - 6.1. 歩行者流動のモデリングのためのシミュレーション法：マクロ、メソおよびマイクロシミュレーション 69
 - 6.2. 人間の歩行動作のモデリング 70
 - 6.3. ミクロおよびメソレベルのシミュレーションの比較 73
 - 6.4. 最後に 79

2 Pedestrian Dynamics® の概要

2.1 Pedestrian Dynamics® (ペDESTリアン・ダイナミクス)

Pedestrian Dynamics®は、建物周辺の歩行者流動をシミュレートするソフトウェアパッケージです。鉄道駅、空港ターミナル、ミュージアム、ショッピングエリア、スポーツ会場、競技場、病院、展示会場などのインフラストラクチャの最適化に使用することができます。Pedestrian Dynamics®を使用することで、簡単にシミュレーション モデルを構築し、通常営業時の評価と避難シナリオを実行することによりインフラストラクチャの質と安全性に関する結果を確認することができます。建物およびその歩行区域の 3D モデルをすばやく作成できます。歩行者の行動は最小・最大歩行速度などのパラメータで決定しますが、最も重要な決定要素は歩行者が環境内で実行する様々なアクティビティです。アクティビティは、例えば領域内でチケットを購入したり、特定の場所で待機したりするなどの行為です。歩行速度、3D 表現および行き先がそれぞれ異なる複数の歩行者グループを容易に作成できます。このようなモデルを作成したら、実験を実行して建物を通過する歩行者流動をシミュレートすることができます。実行後、出力を簡単に確認できます。建物で発生する歩行者密度や歩行時間に関するあらゆる測定を実行することができます。このチュートリアルではPedestrian Dynamics®の操作の基礎を学習します。本ソフトウェアの基本的な機能を紹介し、使い方を説明していきます。実験を実行する方法と実験結果を測定する方法も学びます。

2.2 Pedestrian Dynamics®の起動

Pedestrian Dynamics®を起動するには、[スタート] メニューを使用します。このフェーズでは、スプラッシュスクリーン (図1参照) が最初に表示されます。Pedestrian Dynamics®を起動すると、メインメニューバー、スタートページ、モデルレイアウト (概観は図 2、図 3 参照) の複数のウィンドウが現れます。



図 1: Pedestrian Dynamics® のスプラッシュスクリーン

メイン メニュー バー：主にファイルを開いたり保存したりするのに使います。
 スタート ページ：作業を開始するために利用できるリソースの一覧。
 モデル レイアウト：モデルを作成する場所です。

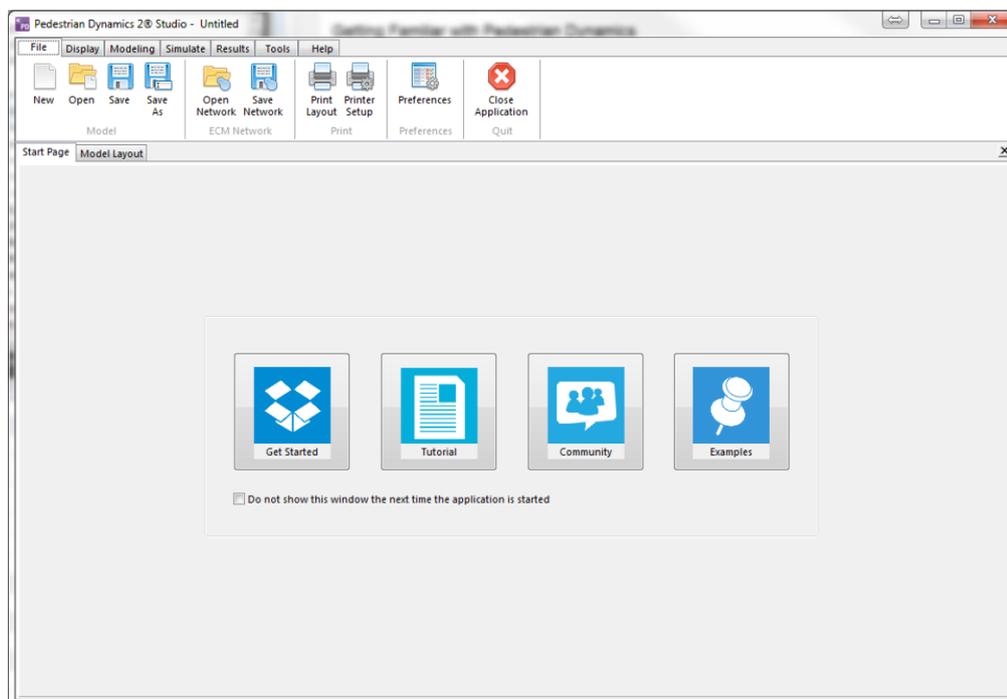


図 2： Pedestrian Dynamics®を開始した後に表示されるウィンドウの説明表

機能やメニューの外観は、Word や Excel など他の Windows アプリケーションに似ています。最もよく使われるメニュー オプションは、次の表で説明します。

メイン メニュー バーは次のように細分されています。

- ・ ファイルの作成、ファイルを開く、ファイルの保存：好みの設定に変え、印刷等の標準的な機能を制御します。
- ・ 表示オープン (Display Open) ビューアーウィンドウとレイアウトウィンドウ：モデルの表示やモデリング・オブジェクトのあるライブラリ・ウィンドウを開きます。
- ・ [シミュレーション実行 (Simulate Run)]でシミュレーションモデルの実行を制御します。実験の設計と実行を行います。
- ・ 結果 (Results)：単一のシミュレーション実行のレポートとグラフィックスの作成や実験の結果を評価します。
- ・ ツール (Tools) には、任意のデータに分布をあわせる自動調整 (Autofit) や4DScript インタラクト等のツールがあります。
- ・ ヘルプ：ドキュメントや模範ウィザード (Example Wizard) を開いたり、会社情報およびバージョン情報を確認したりすることができます

- ・ 開発者向けツール：属性関数ライブラリを作成する開発者にとって便利です。

メインメニューの各項目は2つのグループに分かれています。詳細な説明はドキュメントを参照してください。

3 歩行者流動モデルの構築

この章では、Pedestrian Dynamics®のいくつかの簡単な歩行者流動モデルの構築をするところから始めていきます。本章の目的は、エージェント (Agent)、高さレイヤー (Height Layer)、障害物 (Obstacle)、アクティビティ (Activity)、アクティビティロケーション (Activity Locations)、アクティビティルート (Activity Route) の概念に精通し、Pedestrian Dynamics®で簡単なモデルを構築する (すなわち、環境を描いて環境内の歩行者の行動を定義する) 方法を学ぶことです。

まず、歩行者流動モデルを構築してシミュレートする方法から簡単に説明していきます。

歩行者流動モデルを構築する際、この環境内に物理環境と歩行者行動の両方をモデル化します。環境には床、壁、階段、エスカレーター、歩行区域などのレイアウトが含まれています。歩行者はエージェントでモデル化します。エージェントの行動は、歩行速度などの様々なパラメータで決定しますが、最も重要な決定要素は、エージェントが環境内で実行することになる一連のアクティビティです。アクティビティは、例えばチケット施設でチケットを購入する行動や、お店で食料品を購入する行動などです。チケット施設や商業施設 (お店) は、アクティビティの場所の例です。これらはアクティビティが発生するエリアです。環境の設定時には、これらのアクティビティもモデル内に作成する必要があります。

モデルの構築が完了したら、実験を実行できます。エージェントの入力設定に基づいて、エージェントが環境内に作成されます。各エージェントは様々なアクティビティロケーションで計画されたアクティビティを達成できるように環境を通過するパスを決定します。実験を実行した後は結果が保存され、いつでも解析することが可能です。環境全体の群衆の混み具合を確認したり、廊下、階段または他の領域について特定のデータを取得したりすることができます。

それでは、まず環境のモデリングから見ていきましょう。

3.1 環境の作図

Pedestrian Dynamics®でモデルを構築する最初のステップは、環境を描画することです。環境を作図する際は、必ず高さレイヤー (Height Layer) から始めます。高さレイヤーはエージェントが歩くことができる範囲を定めます。

Pedestrian Dynamics®で新しいモデルを作成する時は、必ず初期の高さレイヤーが含まれています (図1参照)。このレイヤーは、通常建物の1階部分を表すために使用されますが、建物周辺も含めることができます。モデル化する環境に複数の階層が存在する場合は、各階それぞれに対して高さレイヤーを追加する必要があります。

高さレイヤー内では、「障害物 (Obstacles)」を描いて物理的な環境を作成します。「障害物」は、エージェントが歩くことのできないエリアです。壁、彫像、噴水をはじめとする環境内を通るルートを計画する際にエージェントが避けなければならないその他のオブジェクトがこれら障害物となります。

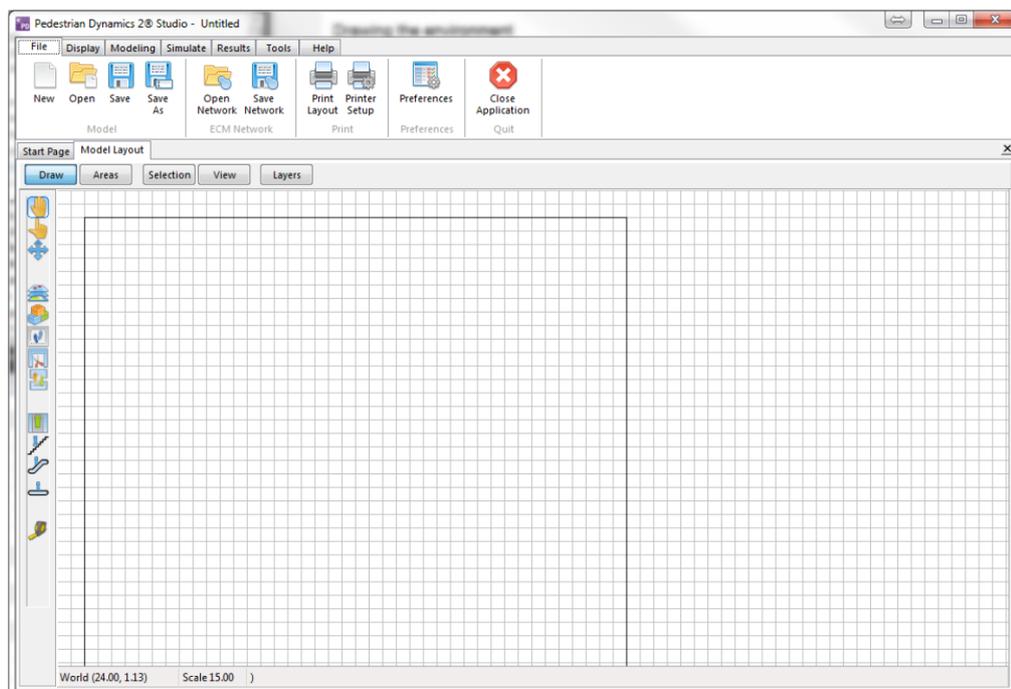


図 1: 1つの高さレイヤーで構成されたモデル レイアウト ウィンドウ。黒い四角形は、レイヤーの輪郭部です。左側には、図形描画ツールバーが表示されます。

ケース 1: 歩行者用トンネル

鉄道の下に設置される歩行者用トンネルは、町の中心部と町の西側の住宅街を結んでいます。このトンネルは電車の駅としても使用されます。トンネルは地上にあります。トンネルの中心部では、階段とエスカレーターがプラットフォームに接続しています。トンネルには、トンネルの上にある線路を支持する2つのコンクリート柱があります。

駅のプラットフォームに行ったり、町の中心部と西側を行き来したりするためにこのトンネルを使用する人の数は増え続けています。増え続ける歩行者の数に対処するため、階段またはエスカレーターを新たにもう1つ設置する必要があるかもしれません。

練習 1

町の中心部と西部でトンネルを出入りする歩行者を伴うトンネルのモデルを作成してみましょう。トンネルを通過するには、歩行者はコンクリート柱を避けて通らなければなりません。

まずは環境を描いていきます。高さレイヤーを用いてトンネルの床面をモデル化し、コンクリート柱のそれぞれをObstacle（障害物）でモデル化します。トンネルの床面を表す高さレイヤーは、[モデルレイアウト]内で既に描画が完了しています。形がトンネルの形になるようにレイヤーのサイズを変更します。モデルレイアウトの左側のツールバーの上から2番目の指差しアイコンを選択（図1参照）して、レイヤーを選んでサイズを変更します。ツールバーが表示されていない場合、モデルレイアウトのメニューバーにある[描画 (Draw)]をクリックします。次は、レイヤーをマウスでクリックして選択します。レイヤーの側面と角に黒い四角形が表示されます。レイヤーのサイズを変更するには、レイヤーの端の小さな黒い正方形の1つをドラッグして、好みのサイズに変更します（図2参照）。

レイヤーのような要素のサイズを変更すると、エレメントの端がグリッド線に合わさります。これは「グリッドに合わせる (Snap to grid)」のオプションによって起こります。このオプションは既定では有効になっており、グリッド線は0.1メートルごとに引かれています（これがグリッドのサイズとなります）。レイアウト ウィンドウの[表示 (View)]メニューのボタンを使用してグリッドを非表示、グリッド サイズを設定し、「グリッドへ合わせる」を無効にします。今回のケースでは、0.5メートルのグリッド サイズを使用します。[表示]メニューに切り替え、グリッド サイズを0.5メートルに設定します。

環境を描画するときは、オプションの「グリッドに合わせる」もしばしば役に立ちます。レイヤーなどのエレメントのサイズを変更する際、「グリッドに合わせる」が有効だとエレメントの端がグリッド線に合うようになります。複数のレイアウトウィンドウを開き、それぞれのウィンドウに対して個別にグリッドに合わせるかどうかを設定できるので覚えておきましょう。たとえば2つのモデルレイアウトウィンドウを開き、それぞれに異なるグリッド サイズ設定します。全般的なグリッドサイズは、全般設定 (General settings) ダイアログの可視化 (Visualization) ページから設定できます。このダイアログは、メインメニューの[シミュレート (Simulate)]タブから開くことができます。新規レイアウトウィンドウが開かれる度、この全般的なグリッドサイズが既定値として適用されます。

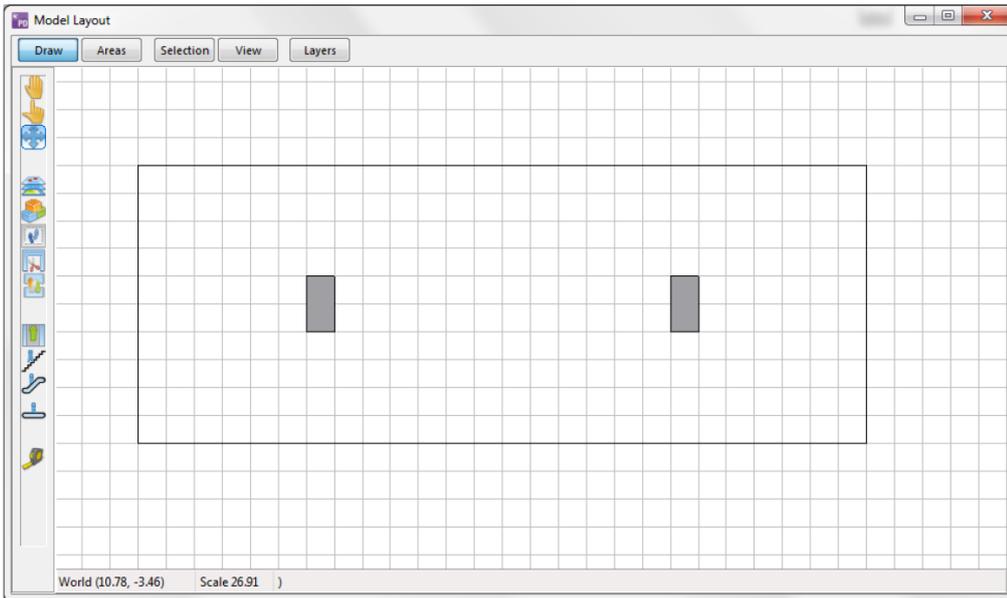


図 2： 線路を支持するコンクリート柱を表現した2つの障害物があるトンネルを表すモデルレイアウトウィンドウ

次に、障害物として表現されるコンクリート柱を描いていきます。高さレイヤーと障害物は、共に同じ方法で描きます。[図形描画] ツールバーがモデルレイアウトの左側に表示されていることを確かめます（図 2 を参照）。表示されていない場合は、モデルレイアウトのメニューバー内の「描画 (Draw)」 をクリックします。上から 4 番目のアイコンは、高さレイヤーを表しており、5番目のアイコンは障害物を表しています。障害物アイコンをクリックします。さまざまな図形を含む 2つ目のツールバーが表示されます。このツールバーでは、障害物の形状を選択できます。障害物を描画するとき、正方形や四角形、円、線などのいくつかの既製の図形を使用できますが、ポリゴンを使用してカスタム図形を作成できます。この演習では、四角形を選択します。高さ層にマウスを移動し、Ctrl キーを押しながらマウスの左ボタンをクリックします。四角形の角の 1 つが固定されます。マウスを移動する場合、四角形の形が変わります。障害物の形状を確定するには、もう一度 ctrl + クリックを押します。

同じように2番目の柱も描きます。または、最初の柱をコピーします。コピーを作成するには、まず、[描画] ツールバーの 2 番目の手を指すアイコン（選択モード）に切り替えます。最初の列を選択し、Ctrl-C でコピー、CTRL + V で貼り付けます。新しいコピーが作成されていますが、最初と同じ位置に作成されます。コピーを動かすには、3 番目のアイコンを選び、移動モードに切り替えます（4 方向を指す矢印のアイコンを選択します）。最初から 2 番目の柱をドラッグし、右にどこかに配置します。代わりに、正確な座標を使用してエレメントの位置を決定することもできます。選択モードへ切り替えて柱をダブルクリックすると、プロパティダイアログ ボックスが表示されます。[座標] ページ で左上と右下の x、y 座標を設定できます。

3.2 入場と退場

次のステップは、モデルに歩行者を追加します。歩行者（エージェント）は「入場」アクティビティを実行することによってモデルに入場し、「退場」アクティビティを実行することによってモデルから退場します。Pedestrian Dynamics®では、すべてのアクティビティはアクティビティ ロケーションで起こります。アクティビティロケーションにはいくつかの種類があります。厳密には、これらの各タイプは同じものであり、あらゆる状況で使用することができます。通常、エージェントがモデルに入り、モデルから退場できる環境内のロケーションとして入場/退場領域を使用します。トンネルの東と西の入口に入場/退場領域を追加します。アクティビティロケーションの描画には、モデルレイアウトのメニューの「領域 (Areas)」をクリックします。[アクティビティ] ツールバーは [モデル] レイアウト ウィンドウの左側に表示されます。注意：最初の 3 つのアイコン（パン、選択および移動モード）は、描画ツールバーと同じです。「開いたドアを指している緑の矢印」のアイコンをクリックして入場/退場領域を描画します。色々な図形が含まれた 2 番目のツールバーが表示されます。四角形を選択し、高さレイヤーにマウスを移動します。再度 Ctrl キーを使用して左上と右下を固定します。同じように、2 番目の入場/退場領域を追加します（図 3 を参照）。

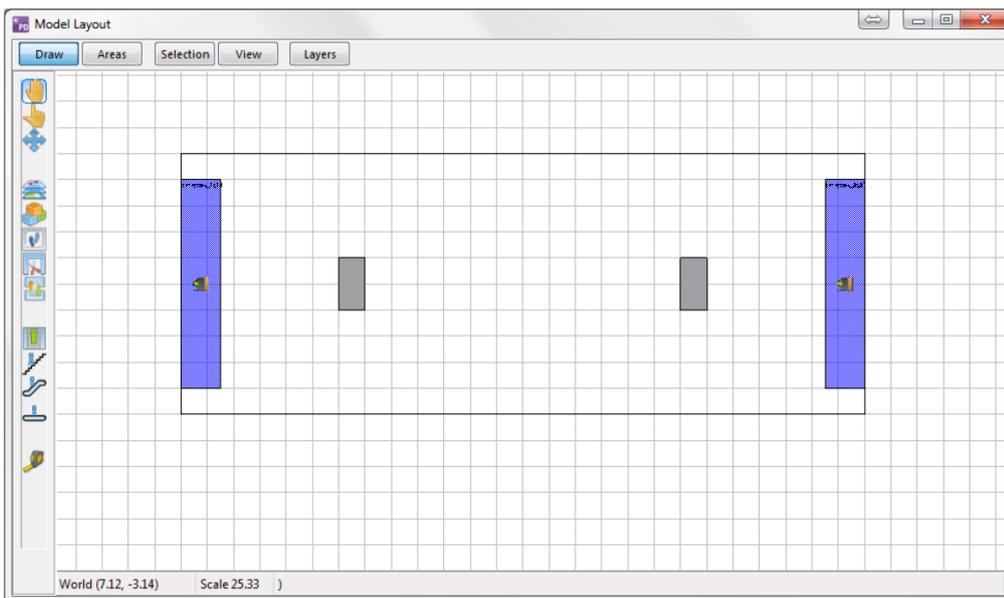


図 3： これでいよいよ歩行者流動モデルの実行準備が整いました。既定の設定では、歩行者はいずれかの入場/退場領域から入場し、もう一方の入場/退場領域を通過してモデルから退場します。

シミュレーションを開始するには、実行コントロール (Run Control) の実行ボタンを押します（図 4 を参照）。実行コントロールは、メインメニューの [シミュレート] タブにあります。紫色のラインのネットワークが表示されます。これは明示的通廊マップと呼ばれ、エージェントがすべての障害物を避けながら環境を通過するパスの決定に使用されます。実行シミュレーション中、入場/退場領域で小さな青

いドットが作成されているのが見えます。これらのドットは、歩行者を表します。歩行者が障害物に当たることなく、環境をどのように通過するかを確認します。実行コントロールの水平方向のスライドバーを調整してシミュレーションの実行速度を変更します。



図 4

3.3 アクティビティロケーション

トンネルは通路と鉄道の駅としてのみ使用されているだけでなく、トンネルの北側には 2 つのお店が含まれています。トンネルを使用し、これらのお店を訪れる予定のない歩行者は、これらを通るはずがありませんので、お店を避けなければなりません。お店に行こうとしている歩行者のみが、そこに行くこととなります。障害物を使用して、お店のための領域を割り当てます。これにより、トンネルの向こう側に行くだけの歩行者は、店を通らずに、店の周辺を通るルートを計画するようになります。店の入り口に、顧客の訪問を許可するアクティビティロケーションを作成します。

モデル内に滞在中、エージェントはアクティビティを実行します。チケットの購入、買い物、待合室での待機、建物からの退場等が、アクティビティとなります。アクティビティは多くの場合複数の場所で起きます。例えば、建物には複数の出口がある場合があります、また鉄道駅には 2 つ以上の切符販売施設があることがあります。これらがアクティビティロケーションとなります。Pedestrian Dynamics®では、いくつかの種類のアクティビティロケーションが利用できます。エージェントが作成され、システムから退場する入場/退場領域は、既に使用しました。アクティビティロケーションの 2 番目の例は、商業施設 (Commercial facility) です。商業施設は、お店を表します。エージェントがお店を訪れると、商業施設のプロパティは、エージェントがそこで費やす時間の確率分布を決定します。

厳密には、さまざまな種類のアクティビティロケーション間で違いはありません。さまざまな種類のアクティビティロケーションがあることで、エージェントが特定の種類のアクティビティを実行できる場所のグループを作成することが容易になりました。

練習 2

トンネルの北側には、ギフトショップと花屋を作成します。

最初のステップは、トンネルの形状を変更して、トンネルの北側面により多くのスペースを作成し、店を収容できるようにします。ここでは「選択」モードに切り替えることを忘れないでください。選択モードへ素早く切り替えるために、「s」キーを押します。次に、障害物を作成してお店のスペースを割り当てます。最後に、[アク

ティビティ] ツールバーに切り替えて、商業施設をクリックし、図形を選択します。2 つの店の入り口に長方形の商業施設領域を描画します (図 5 を参照)。モデルを実行して流れを確認します。

シミュレーションの実行中、柱と店を避けながら歩行者がトンネルを通過するのが確認できます。この時、彼らはまだお店を訪れません。

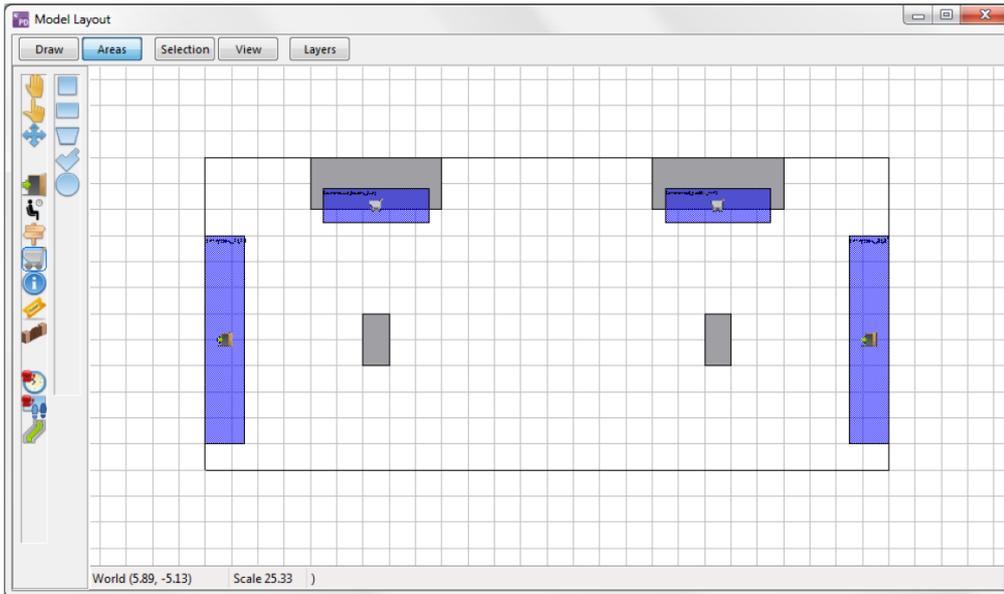


図 5：北側に配置されている 2 つの商業施設とトンネル。

シミュレーションの実行中、柱と店を避けながら歩行者がトンネルを通過するのが確認できます。この時、彼らはまだお店を訪れません。

3.4 エージェントは環境を通過する道をどのように決定するのか

現在の設定では、エージェントは、店を訪れません。エージェント はいずれかの入場/退場領域で作成され、障害物を避けながらトンネルを通行し、反対側の入場/退場領域を通過してモデルから退場します。これは、既定の挙動です。この挙動は変更することができますが、そのためには、挙動がどのように作成されるのか理解する必要があります。エージェントの挙動は、様々なパラメータで決定しますが、最も重要な決定要素は、エージェントが環境内で実行することになる一連のアクティビティです。チケットの購入、買い物、待合室での待機、建物からの退場等が、アクティビティとなることを思い出して下さい。エージェントの最初のアクティビティは、ほぼ常に入場/退場領域から環境に入る行為です。その後、エージェントは目的のアクティビティ、自己のアクティビティルートに従います。それでは、現在のアクティビティとアクティビティルートを見て行きましょう。メインメニューの [シミュレート] タブで「エージェントの入力」をクリックすると、エージェントの入力設定ダイアログが表示されます (図 6 を参照)。

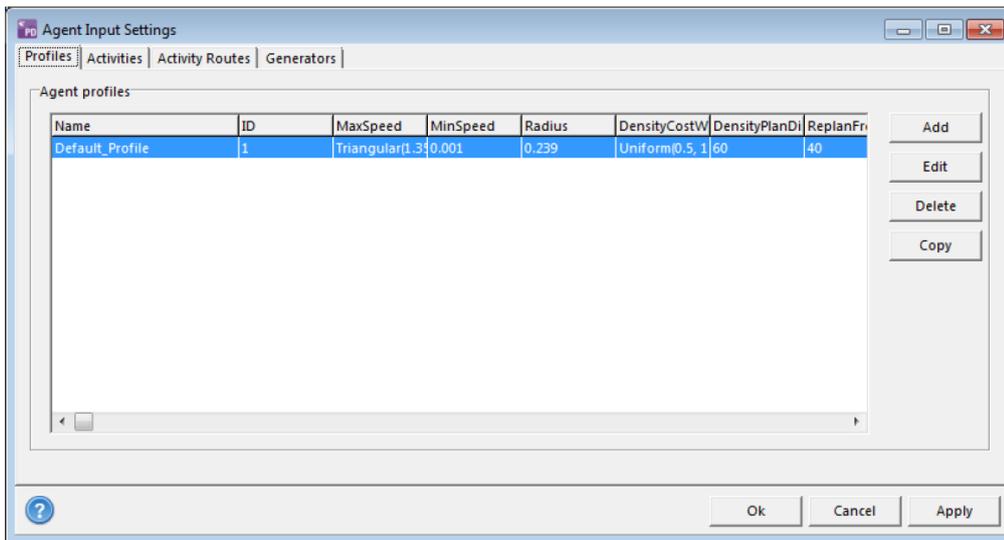


図 6： エージェントの入力設定のダイアログ

[アクティビティ] ページに切り替えます。入場アクティビティと退場アクティビティの 2 つのアクティビティが現在定義されています (図 7 参照)。

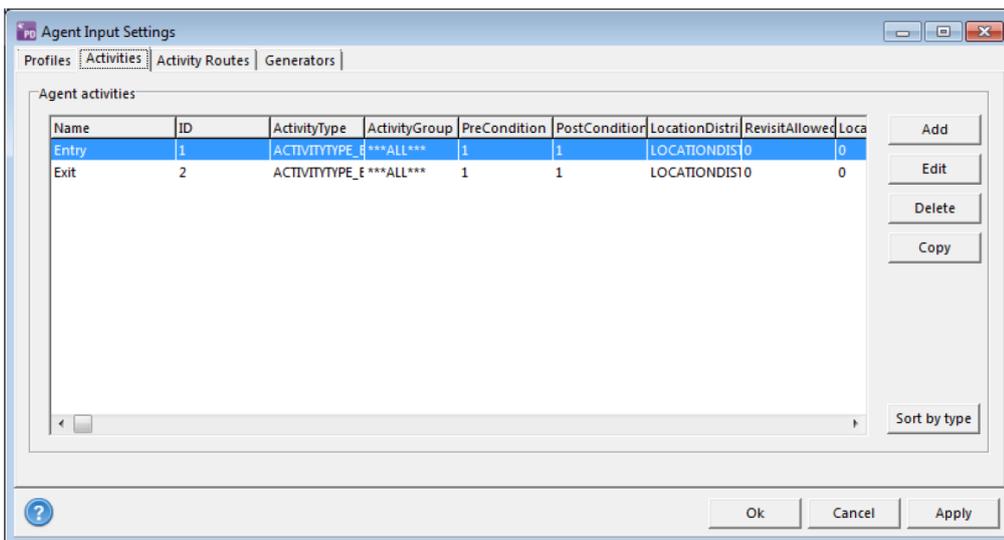


図 7： エージェントの入力設定ダイアログ ボックスのアクティビティ ページと、2つのアクティビティ

アクティビティルートに切り替えると、Default_Routeという名前のルートがあります (図 8 参照)。このルートでは、入場アクティビティと退場アクティビティの 2 つのアクティビティが実行されます。これらのアクティビティは [アクティビティ] ページで定義したことを思い出して下さい。

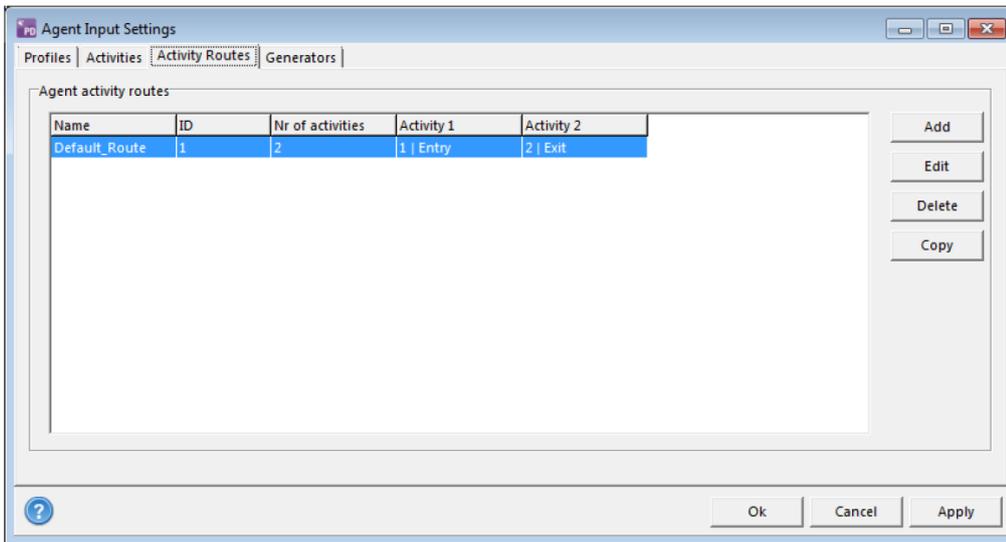


図 8

前の 2 つの練習では、歩行者流動モデルの環境を作成しました。次は、歩行者の挙動をモデル化します。これを行うには、エージェントがどのアクティビティをどのような順序で行うのかを定義する必要があります。この練習では、すべての歩行者は同じ 3 つのアクティビティを実行します。最初のアクティビティが、トンネルへの入場です。これは通常、入場/退場領域で行われます。トンネルに入ることができる入場/退場領域を 2 つ作成したことを思い出してください。2 番目のアクティビティは、「買い物」です。この買い物アクティビティが行われる商業施設タイプのアクティビティロケーションを、2 つ作成しました。3 番目の最後の活動は、トンネルからの退場です。エージェントは、トンネルに入るときに使用した入場/退場領域を同じ入場/退場領域から退場することができます。

練習 3

東口または西口からトンネルに入り、確率分布に従って店の1つを訪れ、入って来た側とは反対側の入場/退場領域からトンネルを出るエージェントを作成してみましょう。

先に、エージェントに対して入場アクティビティと退場アクティビティの 2 つのアクティビティだけが既定で定義されているのを確認しました。エージェントが店の1つを訪れるようにするには、新規アクティビティ「買い物」を作成し、それをエージェントのアクティビティルートに追加する必要があります。

[エージェントの入力設定] ダイアログを開き、[アクティビティ] ページに移動します。エージェントアクティビティのダイアログが表示されるので、追加をクリックします。ここで、新しいアクティビティを定義できます。「Shopping (買い物)」という名前を付けます。このアクティビティは、入場/退場領域ではなく、環境内に作成された 2 つの商業施設のいずれかで起こります。したがって、アクティビティ

ィタイプとして商業施設を選択し、アクティビティグループを*** ALL ***に設定し（図 9 を参照）、適用をクリックします。

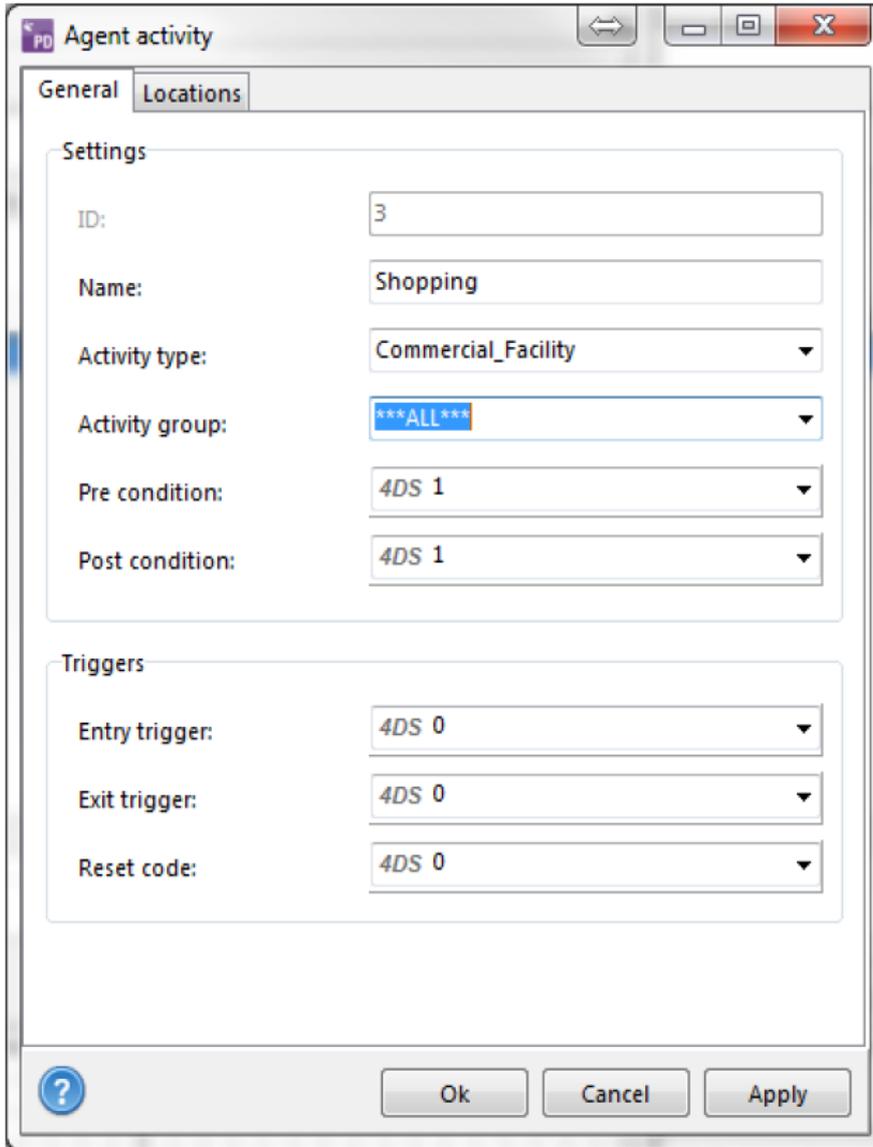


図 9： エージェント アクティビティのダイアログ

これで、新しいアクティビティ「Shopping」が作成されました。エージェントがこのアクティビティを実行する場合、商業施設タイプのアクティビティロケーションである必要があります。アクティビティグループを*** ALL *** に設定しているので、エージェントは環境内で作成された任意の商業施設でこのアクティビティの実行を選択できます。既定では、エージェントは均一（Uniform）分布を用いて、アクティビティグループに属しているアクティビティロケーションの1つを選択し

ます。今回のモデルでは、ギフト ショップ、花屋の 2 つの商業施設を作成したことを思い出してください。つまり、エージェント が買い物アクティビティを行える場所が、環境内に 2箇所存在します。この練習では、既定の設定を使用します。これは、買い物アクティビティが自己のアクティビティルートに含まれているエージェント は、それぞれ50%の確率で花屋またはギフトショップを訪れます。エージェント アクティビティのダイアログ ボックスの [Ok] ボタンをクリックします。アクティビティ表に、3番目の行が追加されているのが確認できます (図 10 を参照)。

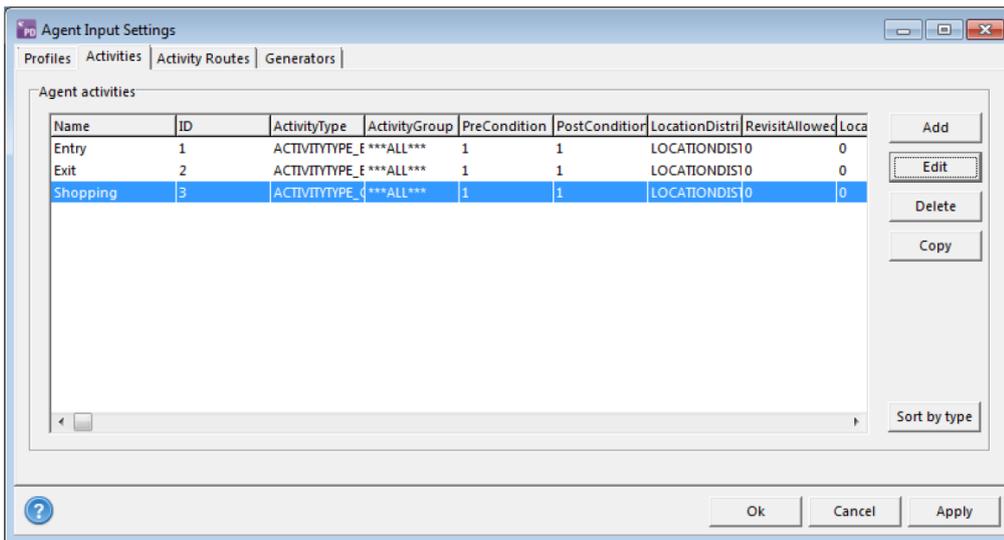


図 10： アクティビティページを表示しているエージェントの入力設定ダイアログ。入場、買い物、退場の3つのアクティビティが定義されています。

アクティビティは、それがアクティビティのルートの一部である場合のみ、エージェントによって実行されます。アクティビティルートのページに切り替えます。Default_Route を選択して [編集] をクリックすると、新しいダイアログ ボックスが表示され、ここでルートを変更できます (図 11 を参照)。

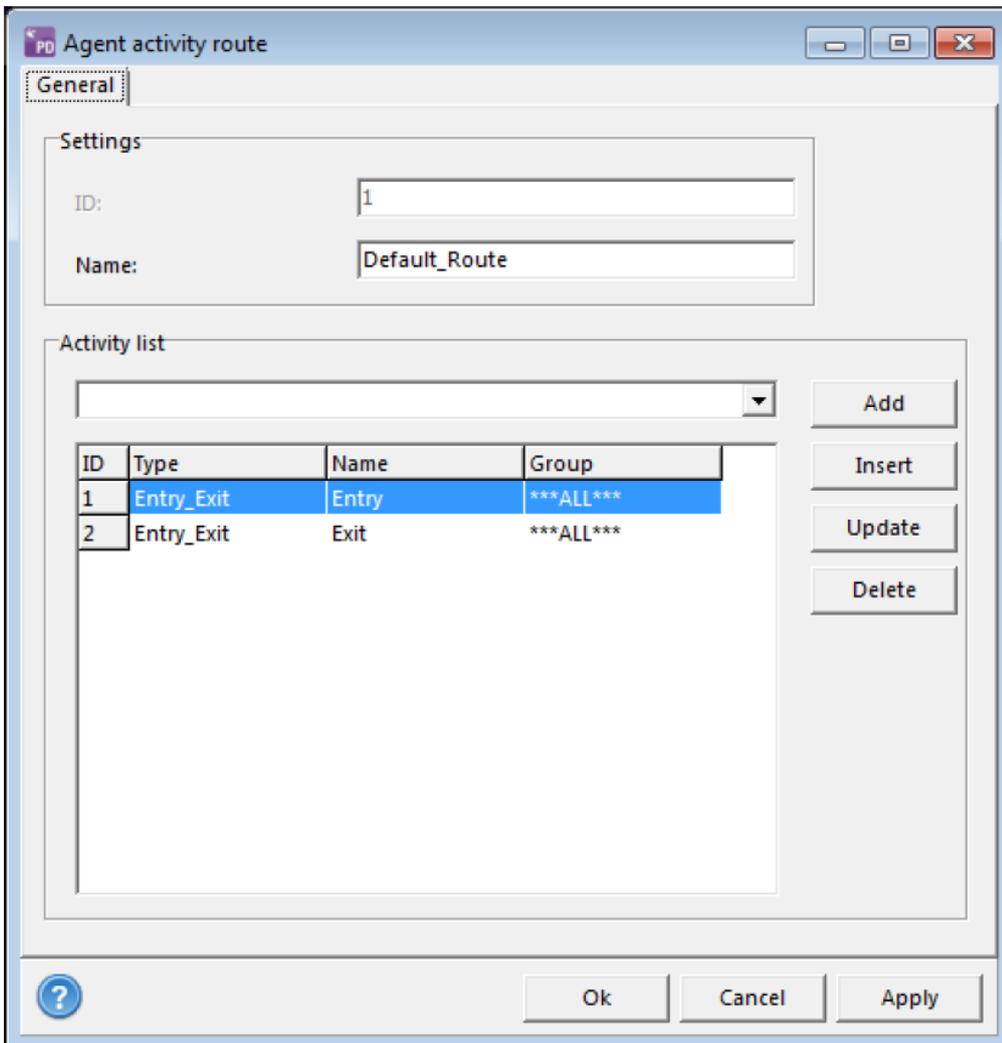


図 11： エージェント アクティビティのルートダイアログ内で、アクティビティルートを作成・変更ができます。

選択ボックスで買い物アクティビティを選択し、リストの入場と退場の間に挿入します（図 12 を参照）。[追加] をクリックすると、現在選択されているタイプの新しいアクティビティがリストの下に追加されます。[挿入] をクリックすると、アクティビティがアクティビティリストの現在選択されている行の上に直接挿入されます。

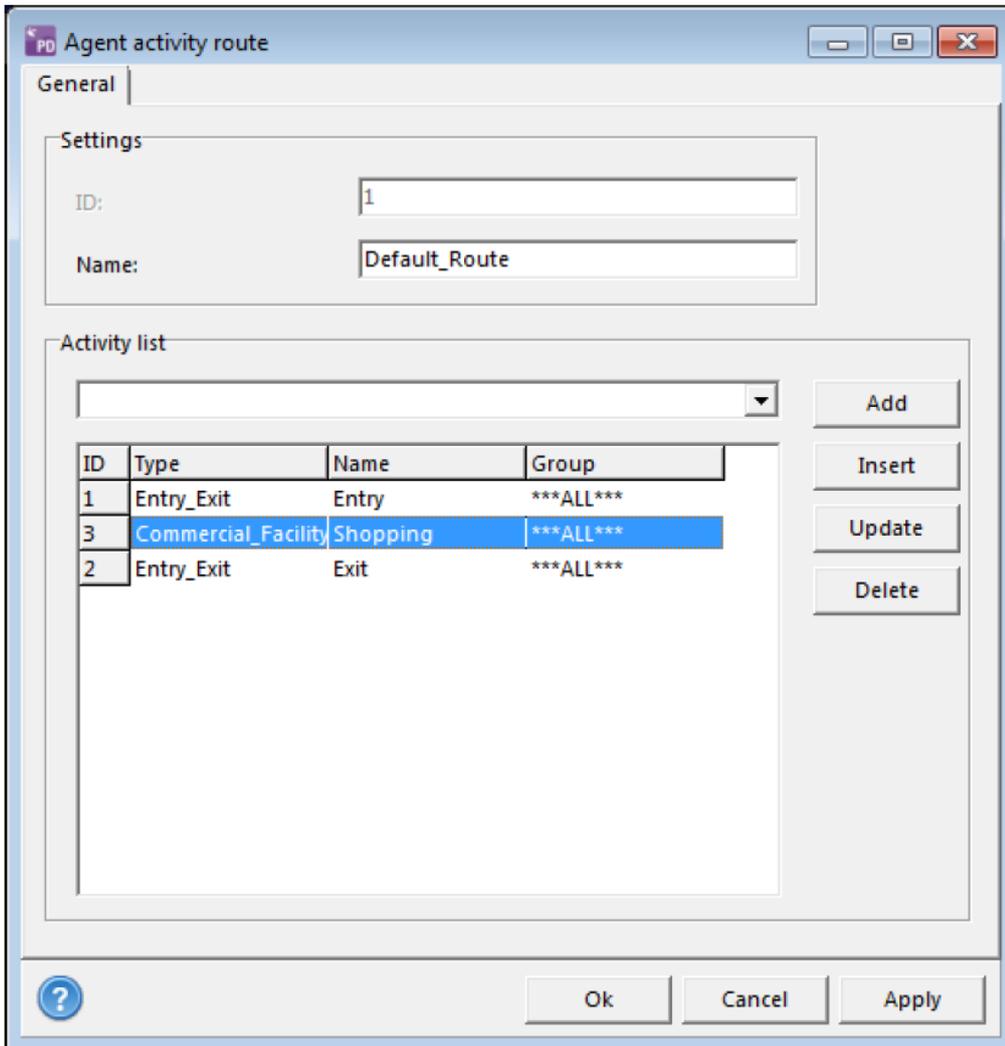


図 12： 買い物アクティビティが、アクティビティルートに挿入されています。

では、エージェントのアクティビティルート ダイアログで [Ok] をクリックし、続いて[エージェントの入力設定] ダイアログ ボックスで [Ok] をクリックします。エージェントは、アクティビティ ロケーションを訪れる計画を立てますが、既定ではそのロケーション内のランダム地点を選択します。エージェントはその地点へと歩いていきます。エージェントがその地点に到達したら、アクティビティルートに基づいて新しいロケーションが決定されるか、エージェントはアクティビティ時間等のロケーションプロパティに従ってしばらくその地点にとどまります。商業施設の一部が障害物と重なりあっているため、店のすべての地点が訪問可能であることを確認する必要があります。商業施設をダブルクリックして、そのプロパティ ダイアログを開きます。ロケーション ページに切り替えて、「歩行可能領域を確保する」を有効にします。もう一方の店についても同じ操作を行います。「歩行可能領域を確保する」を有効にしていない場合、エージェント は、店を表現している障害物

上にある店の一部を訪れようとし、そこに到達するパスを見つけられなくて行き詰まってしまう。

モデルを実行して流れを確認します。

アクティビティルートに従って、エージェントが入口から入ってきて、商業施設を訪れ、最後に出口に向かうことが確認できます。

もっと正確に言えば、エージェントはアクティビティルート内で3つのアクティビティを行います。最初のアクティビティは入場アクティビティで、これはいずれかの入場/退場領域で起こります。2番目のアクティビティはこの練習で作成した買い物アクティビティです。このアクティビティは、モデル内の商業施設のいずれかで起こります。3番目の最後のアクティビティは退場アクティビティで、これはいずれかの入場/退場領域で行われます。各アクティビティにおいて、エージェントは常に2つの選択肢があります。一般的に、1つのアクティビティが行われるアクティビティロケーションが2つ以上ある場合、エージェントは1つを動的に選択します。既定では、エージェントのアクティビティロケーションは均一に分散されます。このケースでは、エージェントがいずれかの入場/退場領域を通過してトンネルに入る確率が50%であることを意味しています。入場/退場領域の1つでエージェントが作成されたら、そのアクティビティルートがチェックされて次の行き先を決定します。これは、今回のモデルではすべての商業施設で行われる可能性のある買い物アクティビティです。したがって、エージェントは50%の確率でいずれかの店に行きます。

では、エージェントはトンネルから出る場合もいずれかの入場/退場領域を50%の確率で選択するかといえば、そうではありません。モデルをもう一度実行し、注意して見てみると、エージェントは常に入って来た側とは反対の入場/退場領域からトンネルの外に出ています。どうしてこれが起こるのかは、後ほど説明します。

3.5 エージェントの作成

トンネルの環境を作成し、歩行者が店の1つを訪問するようなアクティビティルートを作成しました。

次に、トンネルに入る歩行者の数を指定します。これはエージェントジェネレーターで指定されます。これは、どのタイプのエージェントがいつ作成され、どのようなルートプランに従うのかを指定します。ジェネレーターには、特定のエージェントをいつ作成するのかを示した到着リストがあります。

練習 4

2秒毎に、一人の歩行者がトンネルに入って店の1つを訪れます。

[エージェントの入力] ダイアログを開き、[ジェネレーター] ページに切り替えます。Default_Generator を選択し、[編集 (Edit)] をクリックすると、エージェントジェネレーターダイアログボックスが表示されます。[到着リスト (Arrival List)] ページで、エージェントの作成時間を2に設定します (図 13)。表の値は直接編集できます。変更後は[Ok] をクリックし、エージェントの入力設定ダイアログでもう一度 [Ok] をクリックします。[編集 (Edit)] をクリックしてウィンドウ

の上部の編集フィールドを使用する場合は、「Ok」を押してエージェント ジェネレーター ウィンドウを閉じる前に必ず更新 (Update) を押します。

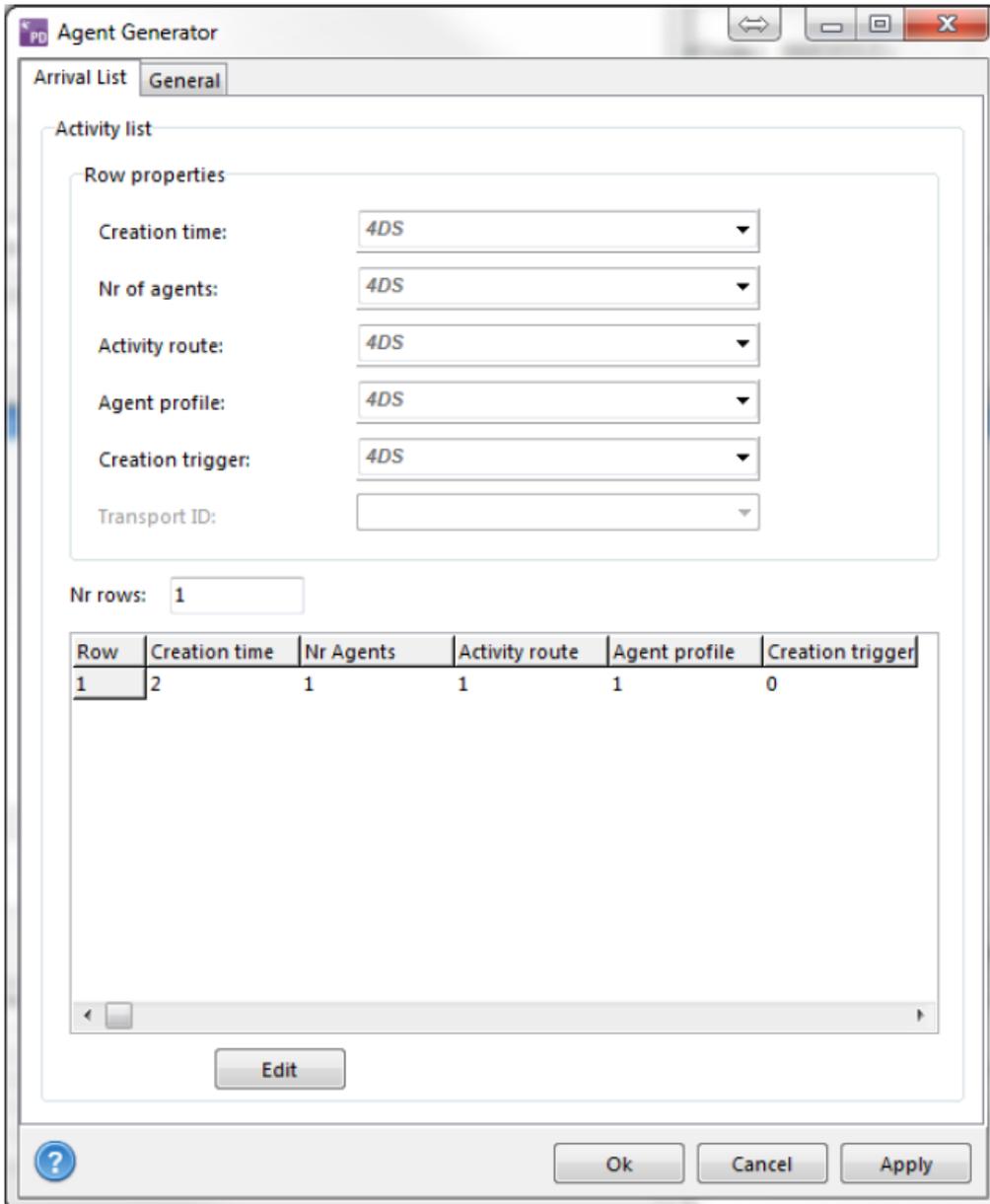


図 13 : エージェント ジェネレーターダイアログ ボックスの到着リストページ

これまでは、2D モデル ビルダーのモデルレイアウトでのみモデルを表示させてきました。3D でモデルがどのように見えるか確認するには、メイン メニューの [表示] タブに切り替えます。3D ビューアーをクリックすると、新しいウィンドウが表示されます (図 14 を参照)。左と右のマウス ボタンを押したまま、上下にマウス

を移動させてズームインおよびズームアウトします。もう一度モデルを実行し、歩行者がトンネルを通行することを確認します。

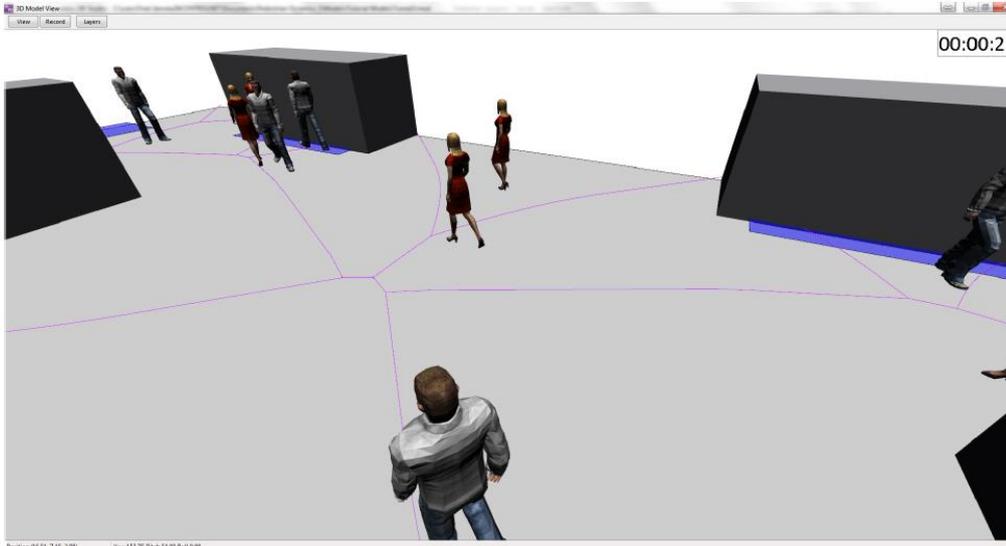


図 14： 3Dモデル表示ウィンドウ

トンネルの歩行者流動モデルを終える前に、実験の実行と出力の調べ方を簡単に説明しましょう。出力を調べる前に、まずデータを収集する実験を実行しなければなりません。

練習 5

実験を実行し、密度および頻度マップを調べましょう。

メインメニューの [シミュレート] ページに移動し、実験グループでウィザードをクリックします。新しいダイアログが開きます。次へ (Next) を 2 回クリックし、実験の開始 (Start Experiment) をクリックします。「シナリオが完了しました！」というメッセージが表示されるまで待ちます。[Ok] をクリックします。メインメニューの [結果] タブに行き、と 2D 出力ウィンドウを開きます (図 15 を参照)。左側に、描画ツールバーが表示されており、上部に [統計情報] ツールバーが現れます。統計情報ツールバーの最後の 4 つのアイコンは、密度マップの描画、頻度マップの描画、移動時間マップ、レイヤーの消去にそれぞれ使用されます。

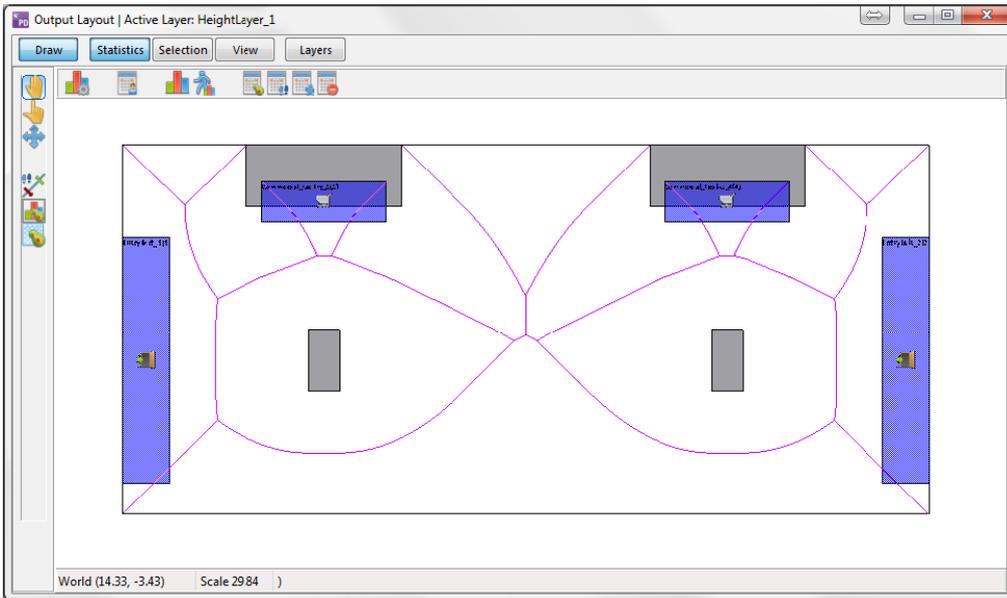


図 15 : 2D 出力ウィンドウ

密度マップ アイコンをクリックすると、新しいダイアログが表示されます。「計算 (Calculate)」をクリックすると、出力ウィンドウ密度マップが表示されます。結果は図 16 になります。密度マップは、シミュレーション中に発生した最大の密度を示しています。エージェント が歩くことのできる領域の大半は、水色で表示されています。これは、その場所の密度が一度も非常に高くなかったことを意味しています。トンネルの北側、店と柱の間のエリアは部分的に薄緑色になっています。これは、この領域では密度が高い時間があったものの、非常に高かったわけではないことを示しています。

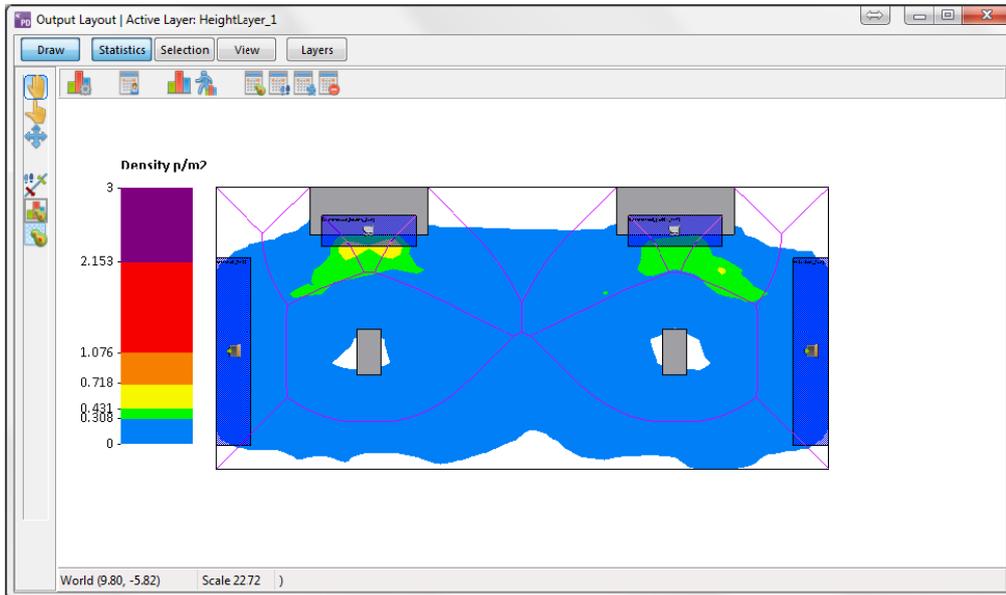


図 16： 密度マップを示した2D 出力ウィンドウ

統計情報ツールバーの最後のアイコンをクリックして、密度マップを消去します。同じ手順で頻度マップを作成します。頻度マップは、単にシミュレーション中にその領域を通った歩行者の合計数のカウントです。

3.6 エージェントのプロファイル

実際のシステムの歩行者流動モデルを作成するときは、通常、環境を異なった目的を持って使用する複数の歩行者グループを区別することになります。これらのグループは、環境内で、異なったアクティビティを行いたいと考えているかもしれません。たとえば、今回のトンネルの場合、トンネルを使用する歩行者全員が、お店の1つを訪れるわけではありません。先に、これは異なるアクティビティルートを作成することでモデル化できることを確認しました。ジェネレーターは、エージェントを作成し、エージェントに異なるアクティビティルートを割り当てることができません。

また、歩行速度や2D・3D可視化など、エージェント間でも相違点があります。これらの相違点は、エージェントプロファイルに属しています。1つの一般的な使用法は、見た目が異なる男女別々のプロファイルを作成することです。そして、例えばこれらは、男性用と女性用ロッカー ルーム等、それぞれ異なるアクティビティルートと組み合わせて使用できます。

今回のトンネルのケースでは、鉄道を横断するためだけにトンネルを使う歩行者と、店を訪問する歩行者を視覚的に区別していきます。

練習 6

このトンネルを使用する歩行者の全員がお店で買い物をするわけではありません。買い物客と通行人の2つのエージェントタイプを作成します。通行人 (Passers) は、一方の入場/退場領域からトンネルに入り、反対側の入場/退場領域から外に出

まず、買い物客 (Shoppers) は、トンネルに入ってお店の1つを訪れます。買い物客の 80% は西出口からトンネルを出ます。これは、買い物客の一部は入って来た側と同じ側からトンネルを出るということを意味しています。

新しいエージェント プロファイルを作成する必要がありますが、まずは既存のプロファイルの名前を変更します。[エージェントの入力設定] ダイアログを開きます。[プロファイル] タブで、エージェント プロファイルの表の最初の行を選択して[編集 (Edit)]をクリックします。[エージェント プロファイル] ダイアログが開きます (図 17) 。 Default_Profile の名前をPassersに変更し、[Ok] をクリックします。

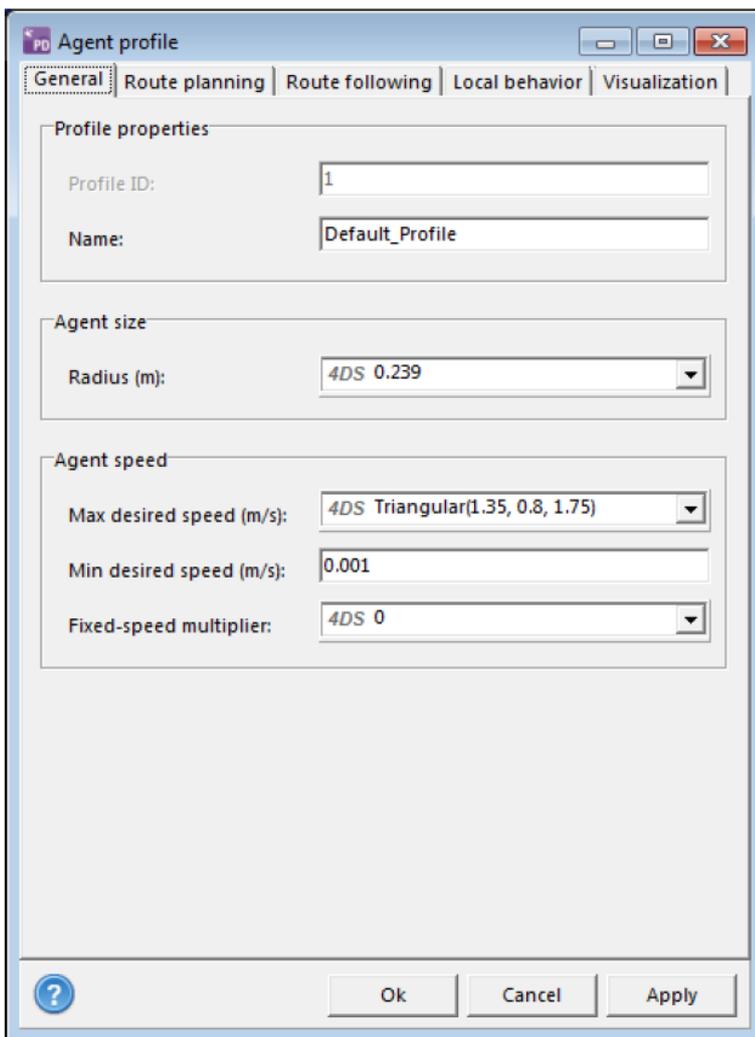


図 17 : エージェント プロファイルのダイアログ

追加 (Add) をクリックして、新しいエージェント プロファイルを追加します。[エージェント プロファイル] ダイアログ ボックスに、このプロファイルとして

Shoppersと入力します。さらに、可視化ページに切り替え、色を赤に変更します（図 18 を参照）。このように、通行人は青色、買い物客は赤色といったように、シミュレーション実行中にエージェント プロファイルを区別できます。



図 18： エージェント プロファイルダイアログ ボックスの [可視化] タブ

この練習の冒頭では、通行人は一方の入場/退場領域からトンネルに入り、反対側の入場/退場領域からトンネルを出ることが説明されました。買い物客も 同様に一方の入場/退場領域からトンネルに入りますが、その後は入って来た側と同じ側からトンネルを出る人もいます。この情報をモデル内に入力するにはどうすれば良いのでしょうか。

それぞれトンネルを異なって使用する2つのエージェント プロファイルがあるので、それぞれのアクティビティ プロファイルに対して異なるアクティビティ ルートを使用するのが妥当でしょう。買い物客の場合、入場、買い物、退場という3つのアクティビティをアクティビティルートに含める必要があります。通行人 の場合は、入場、退場という2つのアクティビティをアクティビティルートに含める必要があります。

アクティビティが発生する場所に何か制約はあるのでしょうか。ありますね。通行人の場合、退場場所は、入場場所と同じではありません。買い物客の場合、退場場所は、入場場所と同じでも構いません。

練習2および3では、既定の設定でエージェントは常に異なる入場/退場場所を使用することを見てきました。今度は、退場アクティビティのロケーション設定を詳しく見ていきます。これを行うには、[エージェントの入力設定] ダイアログ ボックスを開いて [アクティビティ] タブを選択します。次に退場アクティビティを選択して、[編集 (Edit)]をクリックして [ロケーション] タブを選択します（図 19 を参照）。

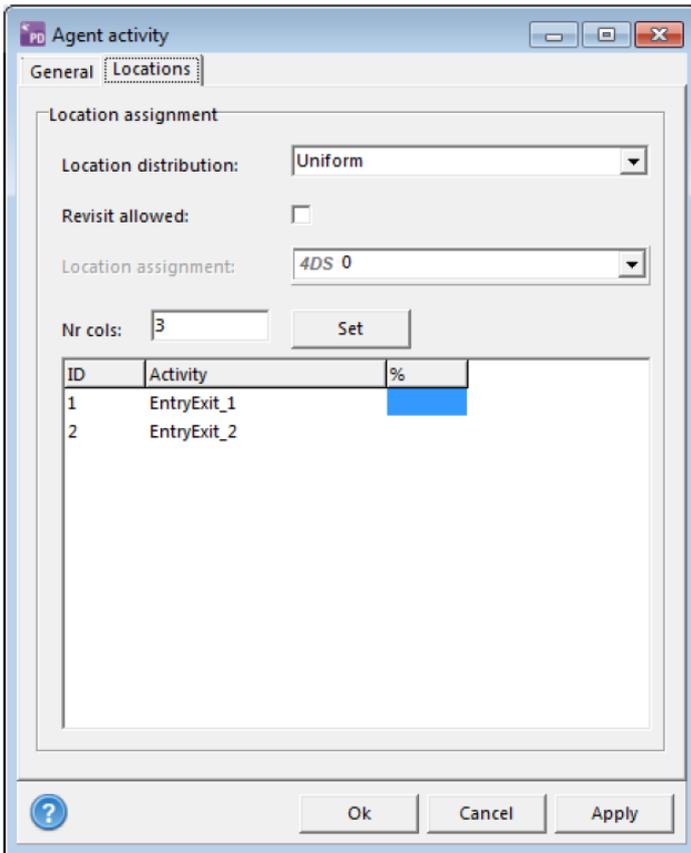


図 19： エージェントアクティビティ (Agent Activity) ダイアログの [ロケーション (Locations)] タブ。「再訪問を許可する (Revisit allowed)」のチェックはオフになっています。

場所の分布が均一に設定されていることに注目して下さい。これだと、50%の確率でエージェントがいずれかの入場/退場領域に到達することと思われるかもしれませんが、しかし、これは「再訪問を許可する (Revisit allowed)」チェックボックスのチェックがオフになっているので発生しません。特定のアクティビティに対して「再訪問を許可する」のチェックボックスがオフになっている場合、エージェントは既に訪れたアクティビティロケーションで当該アクティビティを再度行うことができません。今回のケースについて言えば、入場アクティビティがEntryExit_1で行われた場合、再訪問が許可されていないので、退場アクティビティに同じアクティビティロケーションを選択した場合、均一分布が無効になります。したがって、エージェントは入場アクティビティおよび退場アクティビティを行うために常に異なる入場/退場領域を使用することになります。

現在の練習においては、上記のような状況は通行人にも当てはまります。買い物客の 80 % は、トンネルに入ってきた側からトンネルを出るということを思い出して下さい。したがって、新しいアクティビティを作成する必要があります。このアクティビティに「Exit_Shoppers」という名前を付けます。エージェントアクティビティ (Agent Activity) ダイアログを開き、Exit_Shoppers という名前で新しいアク

ティビティを作成します。タイプはEntry_Exit を選択し、グループは***ALL***を選択します。ロケーション (Locations) ページに切り替え、「再訪問を許可する (Revisit allowed) 」にチェックを入れます (図19参照)。これで、エージェントは50%の確率で今回のモデル内の入口または出口エリアに行くことになります。

均一分布以外でロケーション分布で使用できるオプションには、経験分布 (Empirical distribution) またはユーザー定義分布 (UserDefined distribution) があります。経験分布では、ロケーション表の3番目の欄にパーセンテージを入力することができます。ユーザー定義分布では、予め定義されたロジック (最短または最速オプションの選択または面積に基づいた分布等) を選択することができます。上級ユーザーは、これらのロジックを変更するか、4DScript エディターで独自のコードを入力できます。

買い物客の80%が西側出口を選択するようにしたい場合は、ロケーション分布を変更する必要があります。ロケーション分布を経験分布に変更すると、ロケーションタブに表が表示されます。これで表内のパーセンテージを変更することができます。西側入口/出口エリアを80%に設定し、東側を20%に設定します (図20参照)。

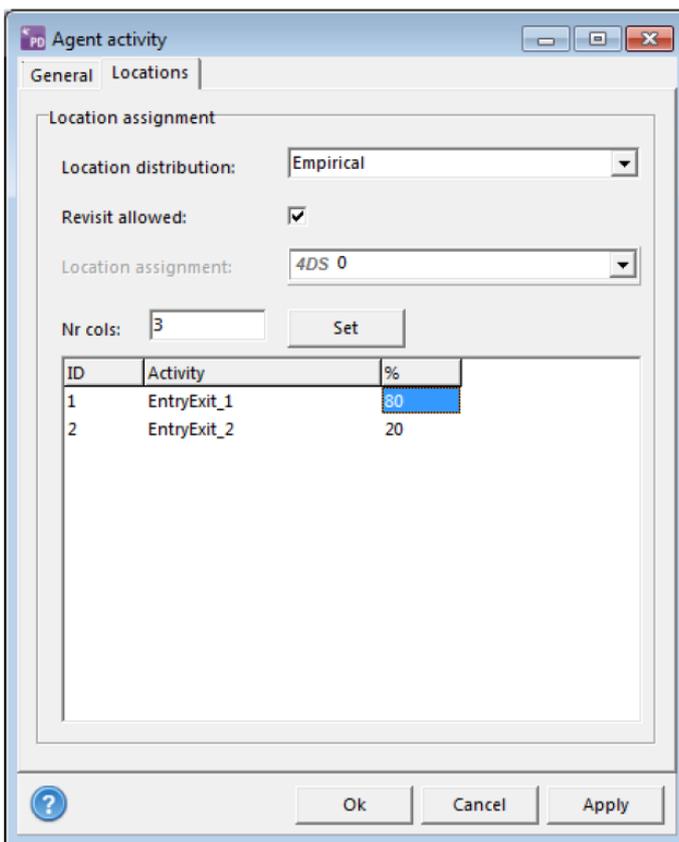


図 20 : エージェントアクティビティ ダイアログのロケーションタブ

これで、買い物客と通行人のアクティビティルートを構築するのに必要なすべてのアクティビティの定義が完了しました。アクティビティルートのページに移動し、Passing_Route と Shopping_Routeの2つのアクティビティルートを作成します。各ルートに対して正しいアクティビティを使用して下さい。結果は図21のようになります。

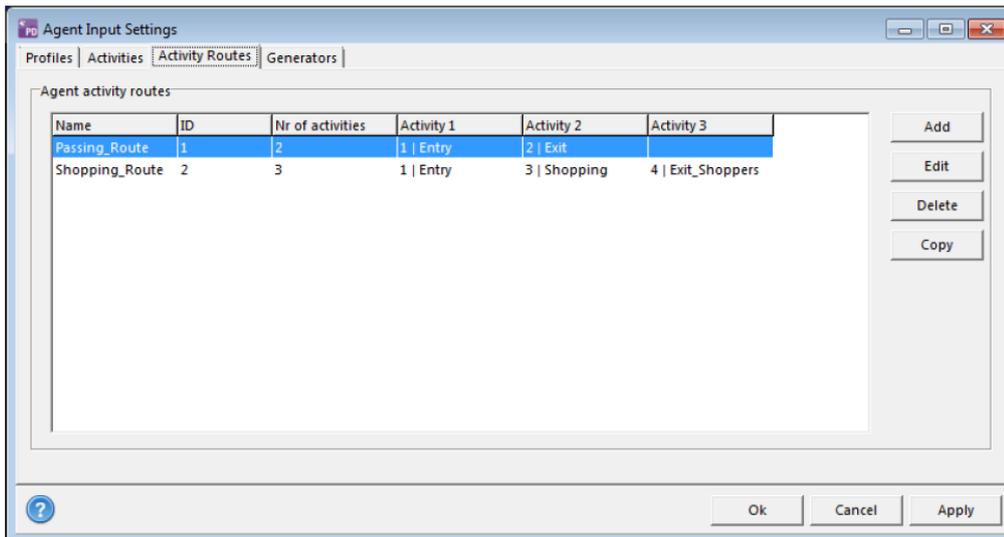


図 21： エージェントの入力設定ダイアログのアクティビティルート ページ

後は、両方のエージェントプロファイルが作成されるように、エージェントの作成を担うエージェント・ジェネレータ (Agent Generator) の調整をするだけです。エージェントの入力設定ダイアログ内の、ジェネレーター (Generators) ページに移動します。エージェント ジェネレーターの表の最初の行を選択し、[編集 (Edit)] をクリックします。[追加 (Add)] をクリックして到着リスト (Arrival List) に新しい行を追加します。ジェネレーターが2つのエージェントプロファイルとそれぞれに対するアクティビティルートを作成するよう、行のプロパティを設定します。結果は図22のようになります。[Ok] をクリックして、エージェントの入力設定ダイアログボックスで再び [Ok] をクリックします。では、シミュレーションを実行してどのような結果になるか確認してみましょう。

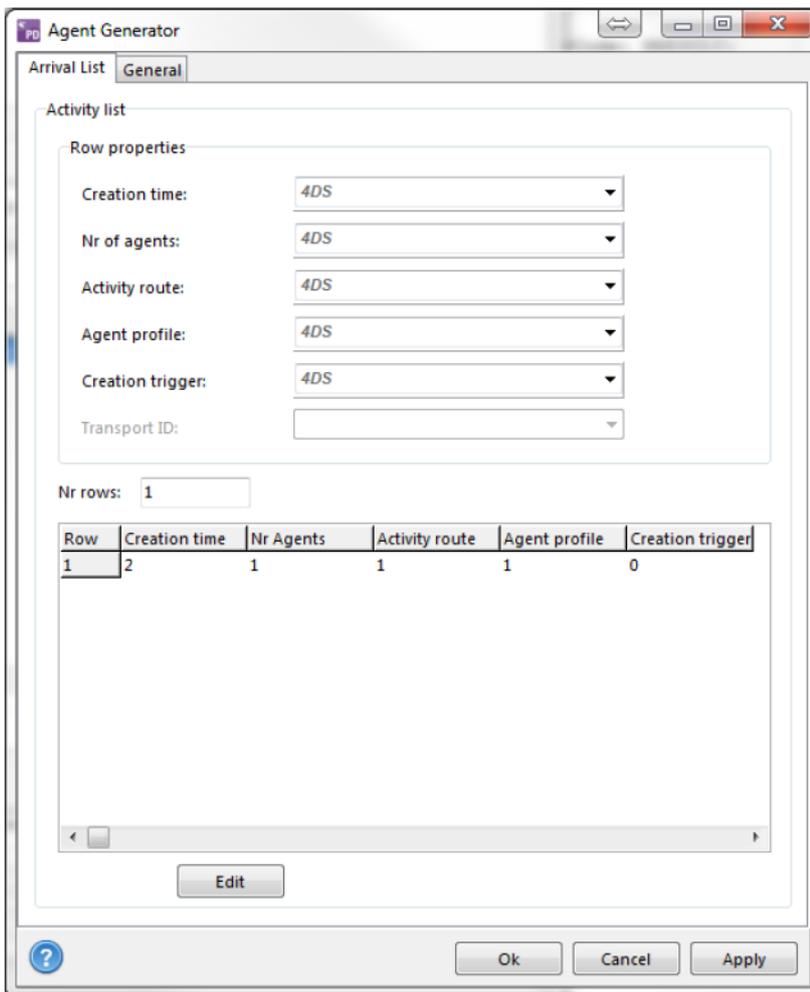


図 22 : [エージェント・ジェネレータ]ダイアログ ボックスの [到着リスト]ページ

この設定では、買い物客の大半がトンネルの西側からトンネルを出ることが確認できます。

3.7 レイヤーを使用する

このトンネルは市内中心部と市の西側を結ぶだけでなく、トンネル上部に鉄道線路がある鉄道駅としての機能もあることを思い出して下さい。これを今回のモデルに統合するには、鉄道線路がある階を表現した2番目の高さレイヤーを追加する必要があります。また、トンネルの階層と鉄道線路の階層を接続させる必要もあります。

練習 7

鉄道線路の階層を表す2番目の高さレイヤーを作成してみましょう。トンネルの階層と鉄道線路の階層を接続する階段とエスカレーターを作成します。また、駅に到着する乗客と駅から出発する乗客を作成します。

長方形の細長い高さレイヤーを描画します。HeightLayer_1と大体同じ寸法で描画しますが、HeightLayer_1 と垂直になるように配置します（図 23 参照）。線路の階層はトンネルの階層の4メートル上に位置しているので、レイヤーのz位置を4に設定する必要があります。選択モードに切り替え、新しいレイヤーをダブルクリックすると、レイヤーのプロパティを設定するダイアログボックスが表示されます。全般ページでz-locを4に設定します。

特定のレイヤーを容易に操作するには、他のレイヤーを非表示にすると良いでしょう。[モデルレイアウト] ウィンドウのメニューで高さレイヤーをクリックします。ウィンドウの右側に高さレイヤーの設定パネルが表示されます。高さレイヤーの名前の前に表示されている「目」のアイコンで、そのレイヤーを表示・非表示に切り替えることができます。一度に操作できるのは1つのレイヤーだけです。このレイヤーはアクティブなレイヤーと呼ばれます。例えば新しい障害物を描画した場合、それはアクティブなレイヤーに追加されます。アクティブなレイヤーのバーは水色でマークされます。他のレイヤーのバーをクリックすると、クリックしたレイヤーがアクティブなレイヤーとなります（図23参照）。

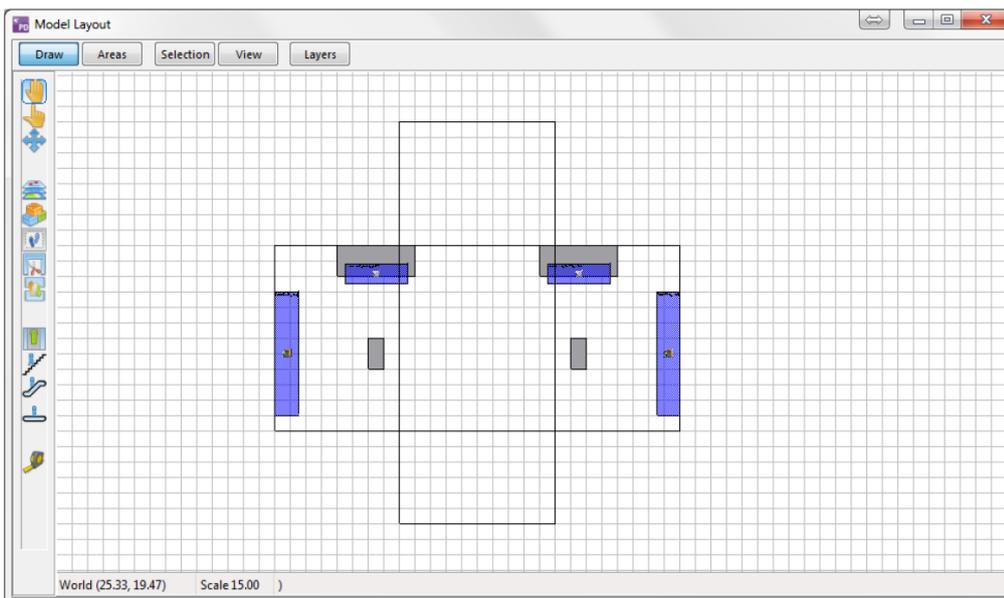


図 23 : 2つの高さレイヤーを含むモデルレイアウトのウィンドウ。高さレイヤーのパネルが表示され、HeightLayer1 はアクティブなレイヤーとなっています。

次に、エージェントがレイヤー間を行き来できるよう、2つの高さレイヤーの接続部を構築していきます。Pedestrian Dynamics®には、z位置が異なる高さレイヤー間を接続する複数のインフラストラクチャ・エレメントがあります。今回のケースでは、接続部は階段とエスカレーターによって形成されていますが、動く歩道を使用することもできます。

まず、階段を構築していきます。描画ツールバーで階段のアイコンを選択します。HeightLayer_1 で長方形を描画し、これがアクティブなレイヤーであることを確認

します。階段の向きが東から西であることを確かめて下さい。また、階段の東側境界が赤色になっていることを確かめて下さい。これは階段の一番下を示しており、また階段エレメントの傾斜端でもあります。今回のケースでは、階段は南から北向きに設置し、階段の最上部が北側になるようにする必要があります。

階段の向きを変更するには、階段を選択してF7 キーを押します。0 ~ 360 度の回転の値を入力します。この場合は 270 度を入力します。移動モードに切り替え、階段を選択して位置を決定します。また、階段を選択した後に F8 キーを押し、新しい場所を入力することもできます。階段は、まだ 2 つのレイヤー間の接続部を形成していません。したがって、選択モードに切り替えて、階段をダブルクリックします。階段のプロパティ ダイアログが表示されます。[全般] ページで「移動 (Transfer)」ボックスにチェックを入れ、「移動元 (Layer from)」と「移動先 (Layer to)」プロパティを設定します。これらを設定し、HeightLayer_1 と HeightLayer_2 を接続します。階段が高さレイヤー間の接続部を形成するので、階段の傾斜 (Tilt) 高さを設定する必要はありません。メイン メニューの [表示] タブから、3 D ビューアーを開き、階段がレイヤーを適切に接続しているかを確認します。

同じ手順を繰り返し、エスカレーターも追加します。[図形描画] ツールバーでエスカレーター アイコンを選択し、エスカレーターを追加します。エスカレーターが 2 つの高さレイヤー間の接続部を形成するようにします。エスカレーターは、トンネルから駅のプラットフォームに向かって乗客を運ぶように設置します。

2 番目の高さレイヤーに、到着または出発する電車をシミュレートする 2 つの入場/退場領域をさらに構築します。[アクティビティ] ツールバーに切り替え、入場/退場領域を 2 つ追加します。結果は図 24 のようになります。

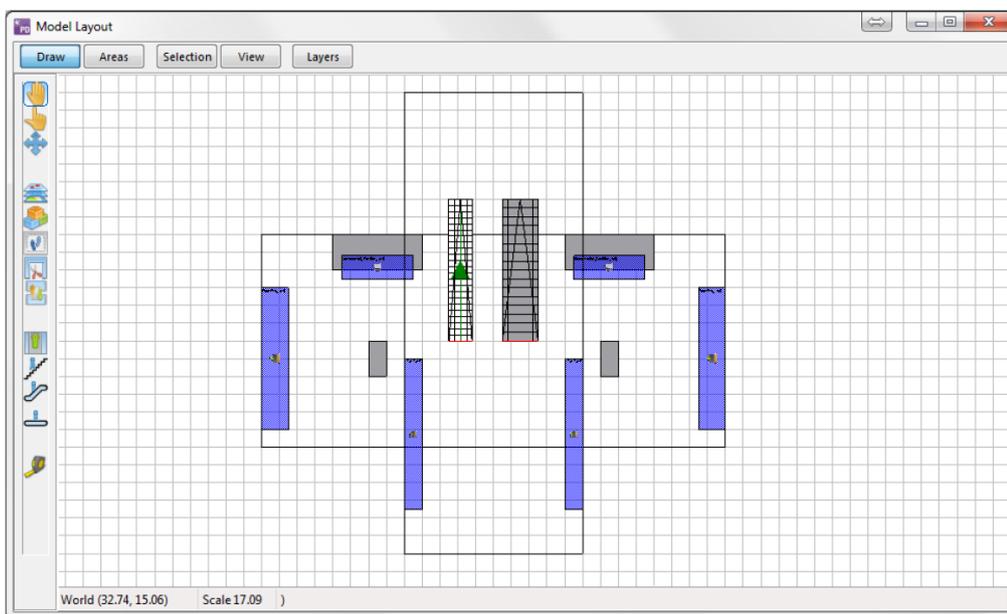


図 24： 2 つの高さレイヤーのあるモデルレイアウト ウィンドウ。エスカレーターと階段が 2 つのレイヤー間の接続部を形成しています。

到着する乗客と出発する乗客をモデル化する必要があります。乗客と買い物客や通行人を区別できるようにするため、乗客の新しいプロファイルを作成し、それぞれに別の色を与えます。[エージェントの入力] ダイアログを開き、新しいエージェント プロファイル「乗客」を作成し、[視覚化] タブで色を緑色に設定します。

次に、アクティビティ ルートおよびエージェント アクティビティについて考えます。通行人はこれでもまだ、トンネルの1つの入場/退場領域から入場して他方の入場/退場領域から出ますが、すべての入場/退場領域に行けるわけではありません。彼らは決してプラットフォーム上の入場/退場領域を訪れることはありません。買い物客は、トンネルの入場/退場領域を通過して入り、店を訪れてトンネルのいずれかの入場/退場領域から退場します。乗客は、トンネルの入場/退場領域から入ってプラットフォーム上の入場/退場領域から退場するか、プラットフォーム上の入場/退場領域から入ってトンネルの入場/退場領域から退場します。今までは、特定の種類のすべてのアクティビティロケーションで実行できるアクティビティを作成しました。たとえば、入場アクティビティは モデル内の*** すべての*** 入場/退場領域で行うことができます。プラットフォーム上に入場/退場領域を追加したので、これはもう当てはまりません。この挙動をモデル化するために、プラットフォームグループ、トンネルグループの 2 つの入場/退場領域グループを作成することができます。

アクティビティロケーションをグループに追加するには、選択モードに切り替え、ロケーションをダブルクリックします。ロケーションのプロパティダイアログボックスが表示されます。[全般] ページで、グループの名前を入力できます。トンネルの入場/退場領域のプロパティのダイアログボックスを開き、グループに「Tunnel」という名前を付けます (図25参照)。プラットフォームの入場/退場領域に対しても同じことを繰り返し、グループに「Platform」という名前を付けます。

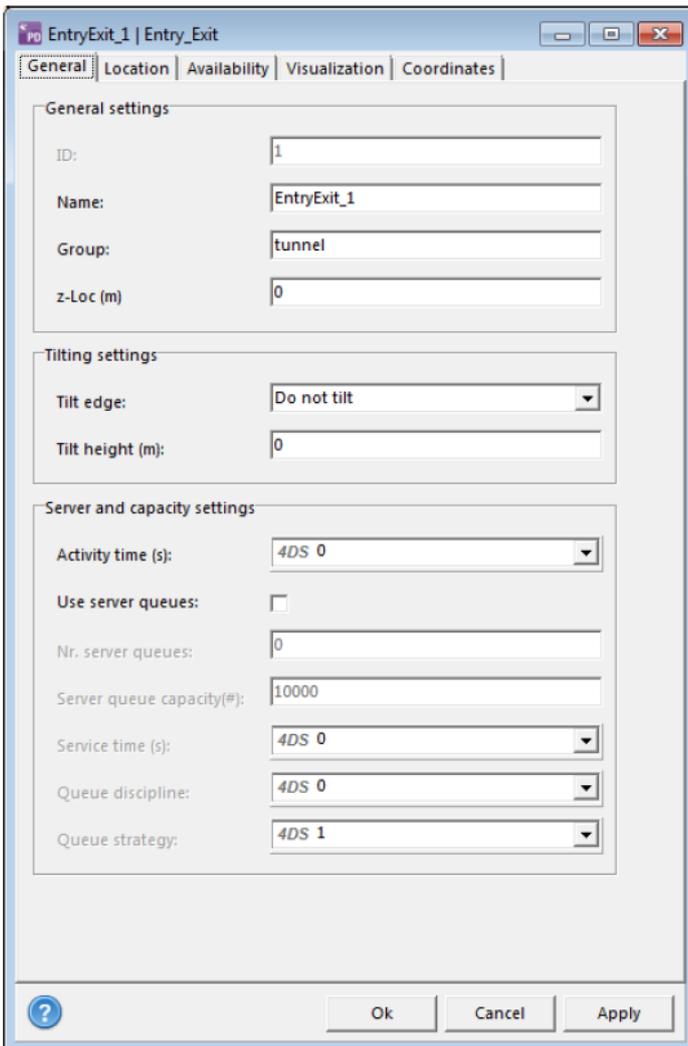


図 25 : トンネルの西側にある入場/退場領域の [プロパティ] ダイアログ

ここでEnter、Exist、Exit_Shoppersのアクティビティを変更し、これらがトンネルのグループに属する入場/退場領域のみで発生するようにします。[エージェントの入力] ダイアログを開き、[アクティビティ] タブに切り替えます。入場 (Entry) アクティビティを選択して編集 (Edit) をクリックすると、エージェントアクティビティのダイアログボックスが表示されます。アクティビティグループのドロップダウンリストにTunnelとPlatformが追加されていることを確認します。アクティビティグループの設定をトンネルに変更します (図26参照)。退場 (Exit) および Exit_shoppers アクティビティに対しても同じ操作を行います。

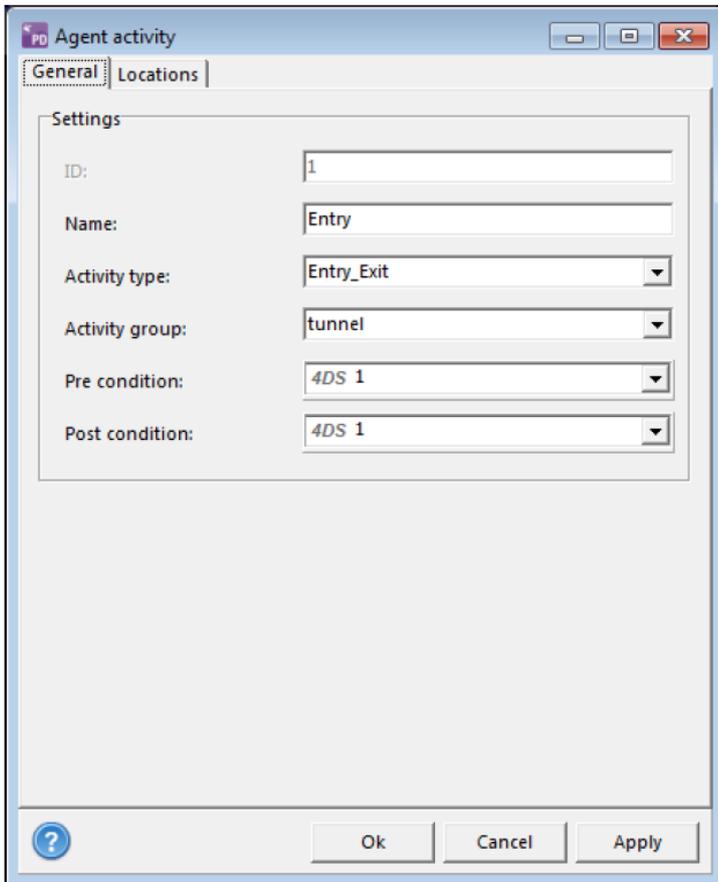


図 26 : 入場アクティビティの[エージェントアクティビティ]ダイアログ

駅に到着する乗客と駅から出発する乗客をモデル化するには、1つの新規アクティビティを追加するだけで構いません。このアクティビティは、プラットフォーム上の乗客の到着または出発をモデル化するのに使用されます。[エージェントの入力]ダイアログの [アクティビティ] タブで追加 (Add) をクリックします。この新しいアクティビティにArrive/Departという名前を付けます。アクティビティのタイプをEntry/Exitに設定し、グループをPlatformに設定してエージェントアクティビティウィンドウで[Ok]をクリックします。

追加する必要があるアクティビティルートは2つ存在します。1つは駅から出発する乗客用、もうひとつは駅に到着する乗客用です。アクティビティルートに出発ルートと到着ルートを追加します。結果は図 27 のようになります。

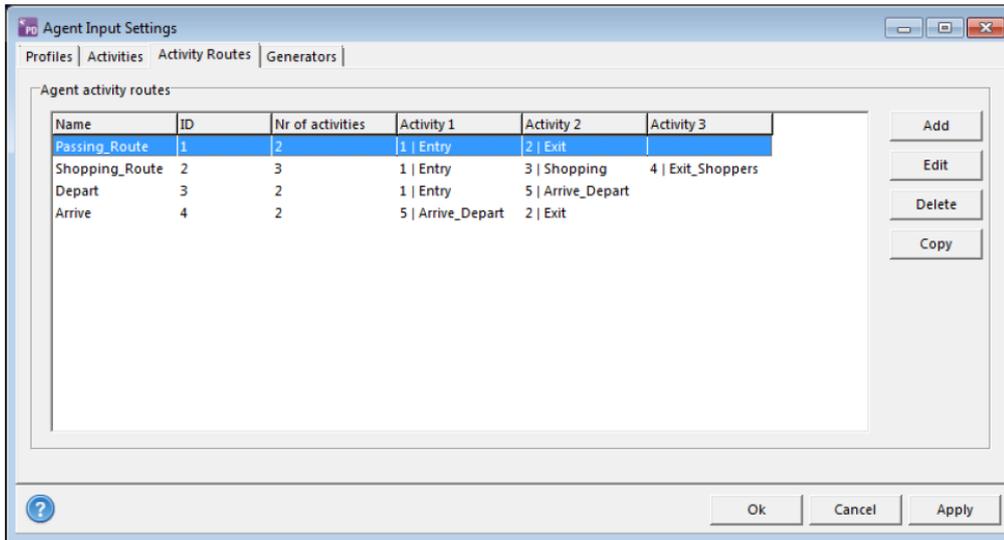


図 27 : トンネルの[エージェントの入力設定] ダイアログのアクティビティルートページ

最後に、ジェネレーターがPassenger（乗客）タイプのエージェントを作成することを確認します。出発（Depart）ルートを通る乗客と、到着（Arrive）ルートを通る乗客を作成する必要があります。ジェネレーターの到着リストを変更し、結果が図 28 のようになることを確認します。

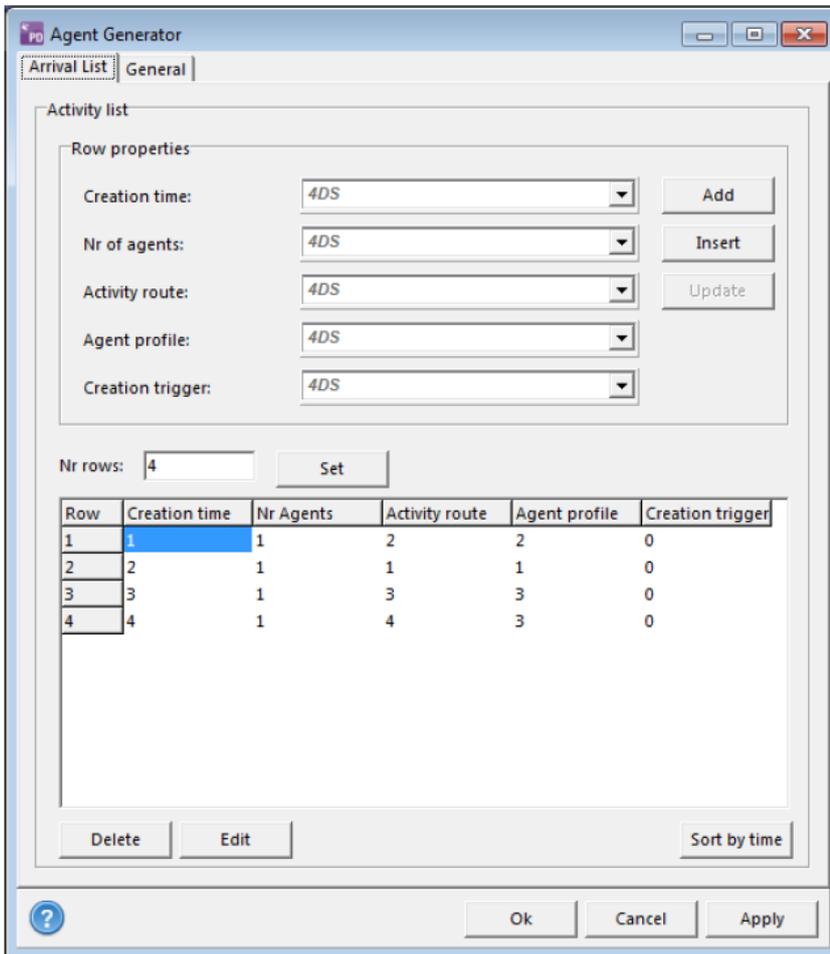


図 28 : トンネルの到着リスト

図 28 に表示されている到着リストは、シミュレーション開始 1 秒後、アクティビティルート2（買い物）を取るプロファイルタイプ2（買い物客）のエージェントを一人作成し、2秒後にルート1の通過ルートを通る通行人タイプのエージェントを一人作成します。3秒後にはルート3（出発）を取るタイプ3（乗客）のエージェントを一人作成し、4秒後にはルート4（到着）を取る乗客タイプのエージェントが一人作成されます。このリストは、実行中に継続的に繰り返され、より多くの数のエージェントを作成します。

メインメニューで [表示] タブから、[3 D ビューアー] ウィンドウを開きます。モデルを実行して、プラットフォーム階からのトンネル階まで歩行者がどのように移動するかを確認します（図29参照）。

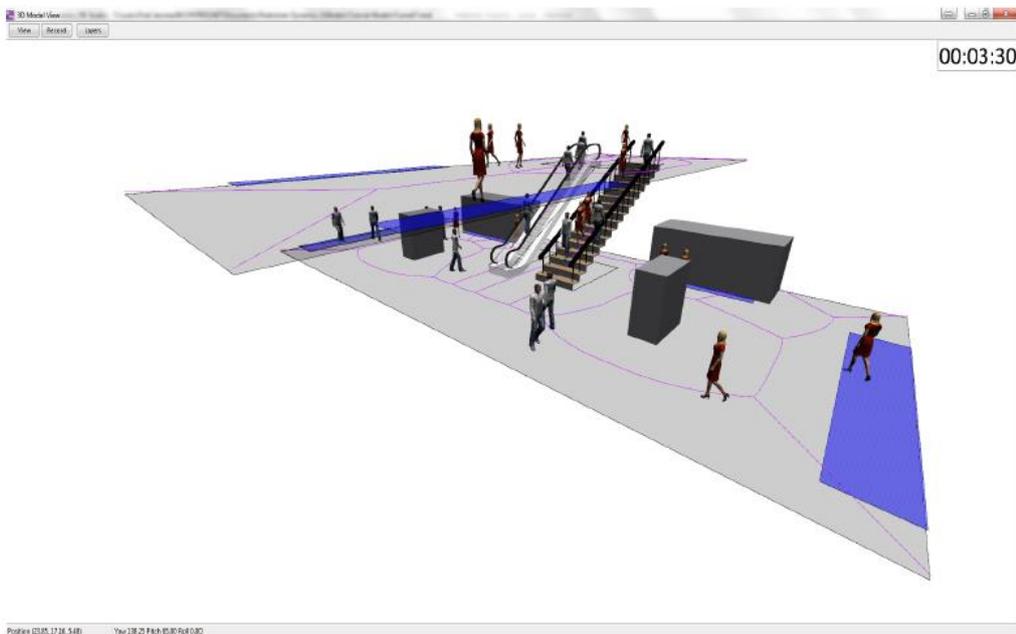


図 29： 3D ビュー ウィンドウ

別の実験を実行し、密度マップを調べて階段とエスカレーターにすべての歩行者が利用できるだけの容量があるかどうかを確認します。メインメニューの [シミュレート (Simulate)] タブから実験ウィザード (Experiment Wizard) を開きます。

「次へ (Next)」をクリックし続けて、「実験を開始 (Start Experiment)」をクリックします。シミュレーションが終了したら [表示] タブへ切り替え、2D 出力ウィンドウを開き、密度マップを作成します。高さレイヤーをクリックして高さレイヤーのオプションパネルを開きます。結果は図30のようになります。特にエスカレーターと階段の密度が比較的高くなっています。

階段とエスカレーターの密度が、HeightLayer_1 と HeightLayer_2 のマップ上に部分的に描かれていることに注目します。2つのレイヤー間の移動領域は密度が低そうに見えますが、実はそうではありません。これは、1つのレイヤーのデータがもう1つのレイヤーと共有されていない事が原因です。階段またはエスカレーターの高さレイヤーを個別に作成し、もう1つ実験を実行すると、階段・エスカレーターの全体で密度が高いことがわかります。

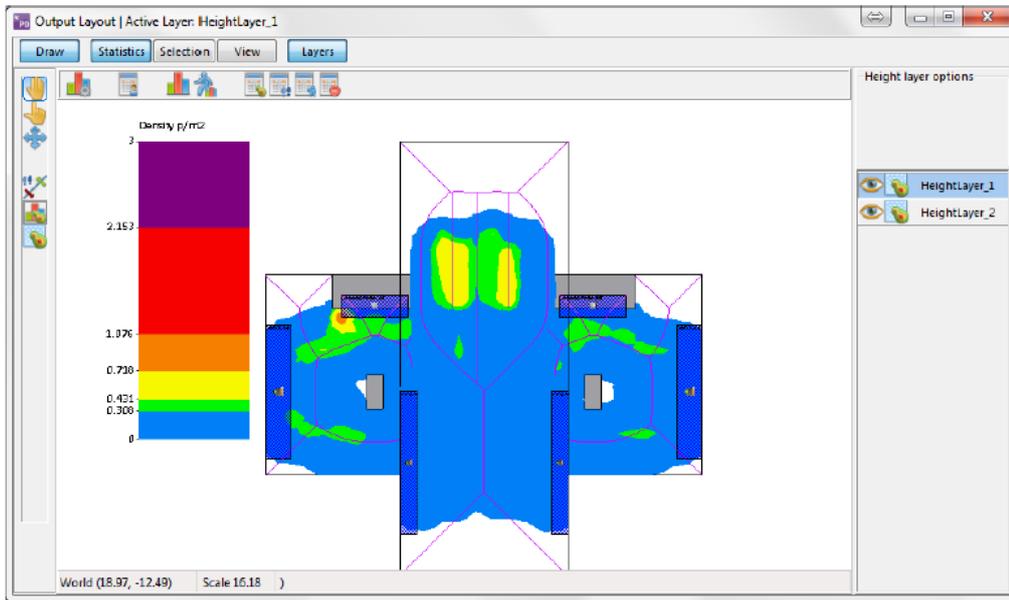


図 30 : トンネルモデルの HeightLayer_2 の密度マップを示す2D出力ウィンドウ

4 避難モデルの作成

このセクションでは、デパートのモデルを構築し、建物からの避難にかかる時間を調べます。

このセクションの目的は、アクションタイマーのエLEMENTに精通し、通路やエスカレーター等のELEMENTが避難モデル内でどのように使用されるのかを知り、アクティビティロケーションの設定についてより詳しく学ぶことです。一番の目標は、Pedestrian Dynamics®で避難モデルを構築する方法を学ぶことにあります。

ケース1：デパートからの避難

あるデパートのマネージャーが、店舗からの避難時間を調べ、それを基にスタッフの緊急避難訓練を行いたいと考えています。デパートは4階建てで、複数の売り場が異なる種類の製品を販売しています（図1参照）。

毎日、建物のレイアウトにあまり詳しくない顧客が多くデパートを訪れます。このため、適切な避難訓練を行うことが難しく、またその費用も高くついています。マネージャーは、様々な緊急事態を想定した異なるシミュレーションシナリオを用いてスタッフの訓練を行い、スタッフが非常時の避難中に顧客の避難をより良く援助できるようにしたいと考えています。マネージャーが解決したい疑問：「すべてが計画通りに行った場合の避難時間はどれくらいか。」「火災によってエスカレーターの1つが使用できなくなった場合どうなるのか。」「それでも妥当な時間で建物から避難できるのか。」

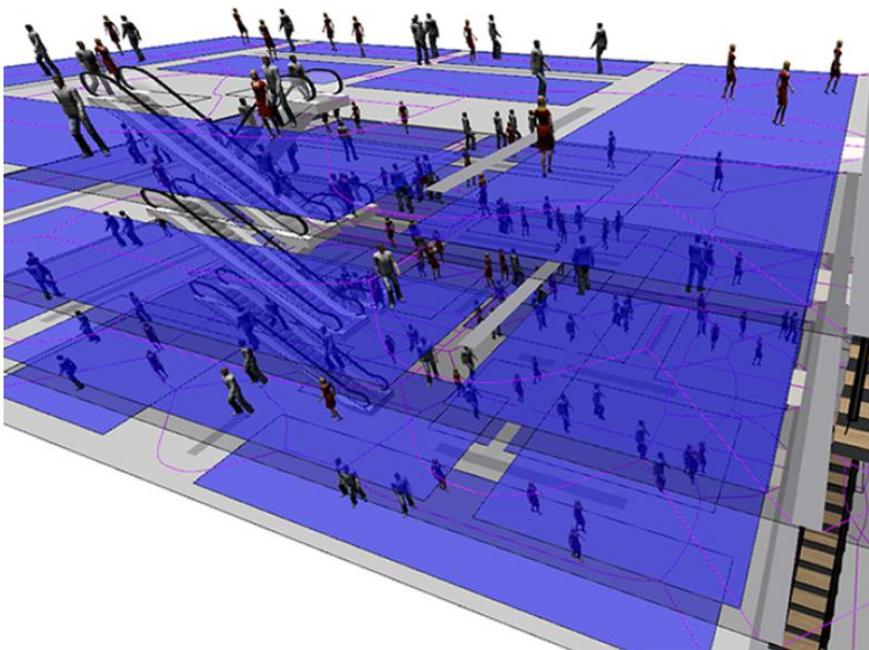


図 1：デパートの 3Dモデルビュー

練習 1

デパートの 1 階のモデルを作成しましょう。

まず環境を描画し、デパートは通常日として機能するようエージェントの入力を設定します。

20 x 40 メートルの高さレイヤーを使用して、デパートの地上階（1階）およびデパートの建物の外の領域をいくらか表現します。「グリッドに合わせる」オプションを使うか、高さレイヤーの特定の座標を設定します。2D ビルダーのレイアウトの選択メニュー内で、「グリッドに合わせる」を有効または無効にできます。ここではグリッドサイズの設定も可能です。任意のエレメントに特定の座標を設定するには、選択モードに切り替えて高さレイヤーをダブルクリックすると、高さレイヤーのダイアログが表示されます。座標ページに切り替え、左上（TL）と右下（BR）の座標を設定します。レイヤーの名前を「Ground（地上階）」に変更します。

Comment [MF1]: 原文がイギリス英語のGround floor（地上階=1階）、First floor（2階）を使用していますので、混乱されないようご注意ください。原文のFirst Floorは建物の2階になります。

店舗には、服、家電、おもちゃ、化粧品、スポーツ用品やトイレタリー用品を販売する様々な売り場があります。商業施設（Commercial facility）を使用して、これらの売り場のそれぞれをモデル化していきます。さらに、デパートの入口を入場/退場領域を使ってモデル化し、複数の障害物を使って売り場を区切る壁をモデル化します。これらのエレメントは共に、デパートの地上階の環境を構成します（図2参照）。障害物を用いて高さレイヤーを2つの部分に分割していることに注目して下さい。後ほど、右側の小さい領域を火災避難用非常階段に使用します。

[アクティビティ] ツールバーに切り替え、入場/退場領域を高さレイヤーの左側に描画し、店舗の入口をモデル化します。入場/退場領域は、（部分的に）高さレイヤーの外側に描画されていても問題はありません。この場合、「入場/退場領域の歩行可能領域を確保する」オプションにチェックを入れるようにします。このオプションは、すべてのアクティビティロケーションのロケーションページにあります。次に、単一の売り場を表現した商業施設を1つ描画していきます。他の売り場を描く前に、まずこの商業施設の設定を変更し、このエレメントをコピーして他の売り場を表現します。

このケースでは、売り場を訪れる顧客は平均で5分間この領域に留まると想定します。エージェントがアクティビティロケーションで費やす時間は、アクティビティロケーションのダイアログで設定できます。エージェントが1つのロケーションで費やす時間を決定する重要な設定の1つが、アクティビティ時間です。これは、エージェントがそのロケーションで費やす時間を秒単位で表します。エージェントを正確に2分間1つのロケーションにとどませたい場合は、アクティビティ時間を120に設定します。この時間は固定する必要はなく、確率分布を使用することもできます。アクティビティ時間をNegExp（300）に設定した場合、エージェントがこのロケーションを訪れるたびにランダムな数字が300を平均値とする負の指数分布から引き出されます。平均で、エージェントはこのロケーションで5分間の時間を費やします。エージェントがアクティビティロケーションで過ごす時間に影響を与え、アクティビティ時間よりも長い時間とどませる他の設定も存在することに注意してください。この場合、アクティビティ時間を分数で設定します（NegExp（5））。選択モー

次に切り替え、商業施設をダブルクリックします。アクティビティ時間は、[全般] ページで確認することができます。

既定では、商業施設に入場する時、エージェントは表示されません。このようなロケーションにエージェントが入場する際にエージェントを表示させるには、「エージェントを除外する (Exclude Agent)」オプションを、既定のExclude_Hideオプションの代わりに「いいえ (No)」に設定します。この「エージェントを除外する」設定は、[ロケーション] ページの商業施設のダイアログにあります。最後に商業施設の名前を「Department (売り場)」に変更します。最初の売り場を完全にセットアップした後は、そのコピーを作成すれば他の売場をすぐに作成することができます。商業施設を選択し、Ctrl + C でコピー、Ctrl + V で貼り付けます。すると、商業施設がお互い重なり合うように描画されます。移動モードに切り替え、コピーを高さレイヤー内の別の場所にドラッグします。中央にエスカレーター用のスペースを残して、地上階に6つの売り場を作成します。最後に描画ツールバーに切り替え、障害物を描画します。

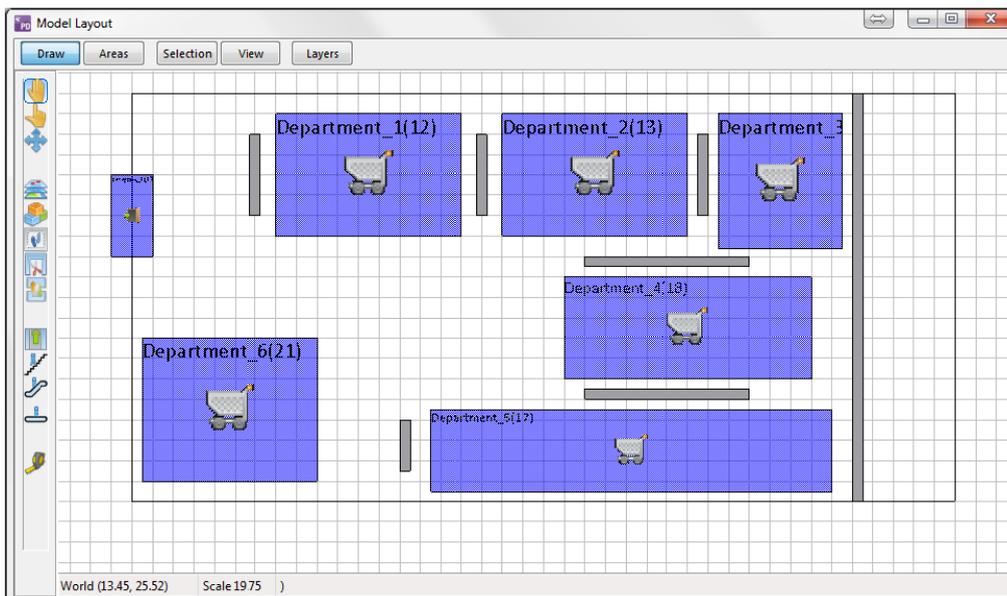


図 2： デパートの1階の2D モデルビュー。

次に、エージェントの動作を定義します。このケースでは、店舗に到着する顧客、複数の売り場を訪れる顧客、そして店を去る顧客をモデル化します。後ほど、避難を開始するエレメントを追加します。避難分析を行うため、各フロアに一定数の顧客を配置し、避難をすぐに開始することも可能です。

[エージェントの入力] ダイアログを開き、アクティビティ ページに切り替えます。デパートの入口は、出口としても使用されるので、予め定義した退場アクティビティの「再訪問を許可する」オプションにチェックを入れます。この設定はエージェントアクティビティ ダイアログのロケーション ページにあります。次に、「Shop」という名前の新しいアクティビティを追加します。このアクティビティは、すべての商業施設で起こります。したがって、アクティビティ タイプを

Commercial facility（商業施設）に設定し、アクティビティ グループを ***ALL***（すべて）に設定します。

顧客は訪れる売り場をランダムに決定するものと想定します。これは、経験分布を用いてモデル化できます。ロケーション ページに切り替え、ロケーション分布を Empirical（経験分布）に設定し、合計が100%になるように各売り場にパーセンテージを割り当てます。アクティビティ ルートのページに切り替えます。

Default_Route を編集します。エージェントはまず入場アクティビティを行い、次に買い物、最後に退場アクティビティを行うようになっていることを確認します。ジェネレーター ページに切り替えます。

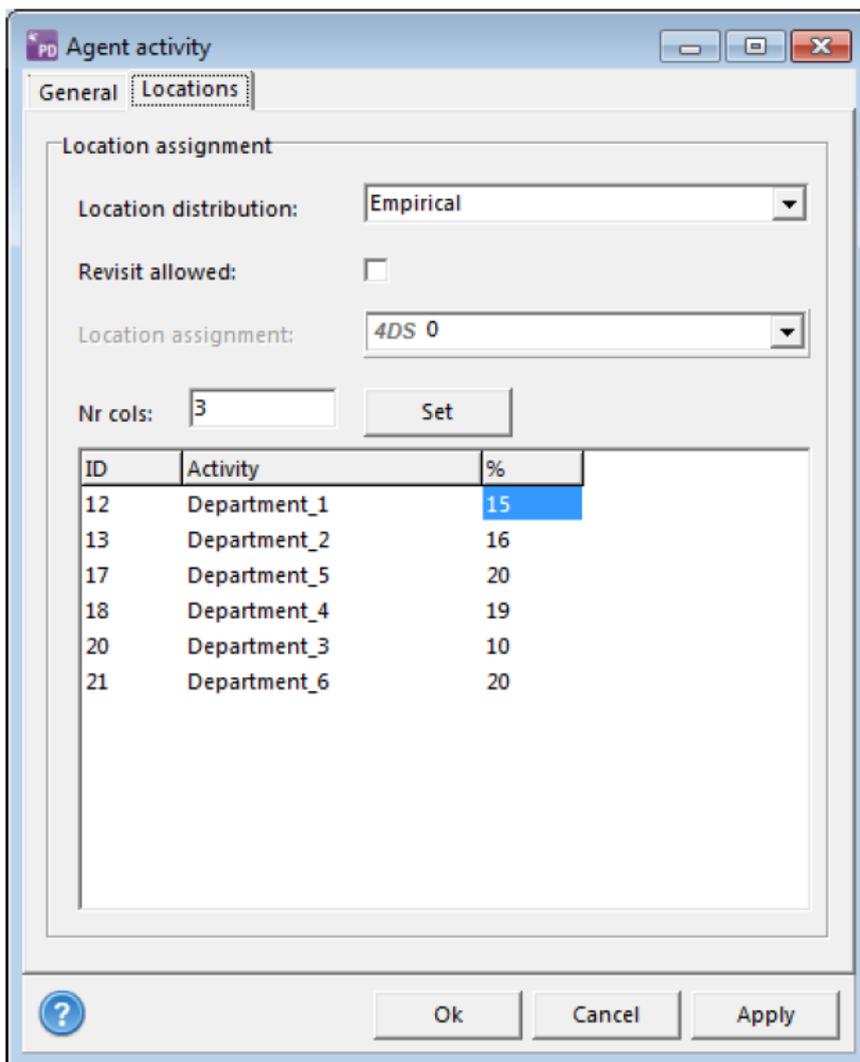


図 3： 買い物アクティビティのロケーション設定。ロケーションは、経験分布に基づいて割り当てられます。表内の各ロケーションに対するパーセンテージは、エージェントが買い物アクティビティを行う際にこのロケーションを訪れる確率を定義します。

お店を訪れる人の到着プロセスは、しばしばポアソン過程としてモデル化できます。これは 到着する二人の顧客間の時間が指数関数的に分散されていることを意味します。ジェネレーターは、到着リストに基づいてエージェントを作成しますが、乱数ジェネレーターとして設定することも可能です。既定のジェネレーターを編集し、繰り返しモード= 連続、オフセット時間 = NegExp (4) (4秒を平均値とした負の指数分布)、遅延時間= 0 の設定を適用させます。到着リストの行は1つで、0 時間で一人のエージェントを作成するようにします (図4、5参照)。モデルを実行し、その妥当性を確認します。

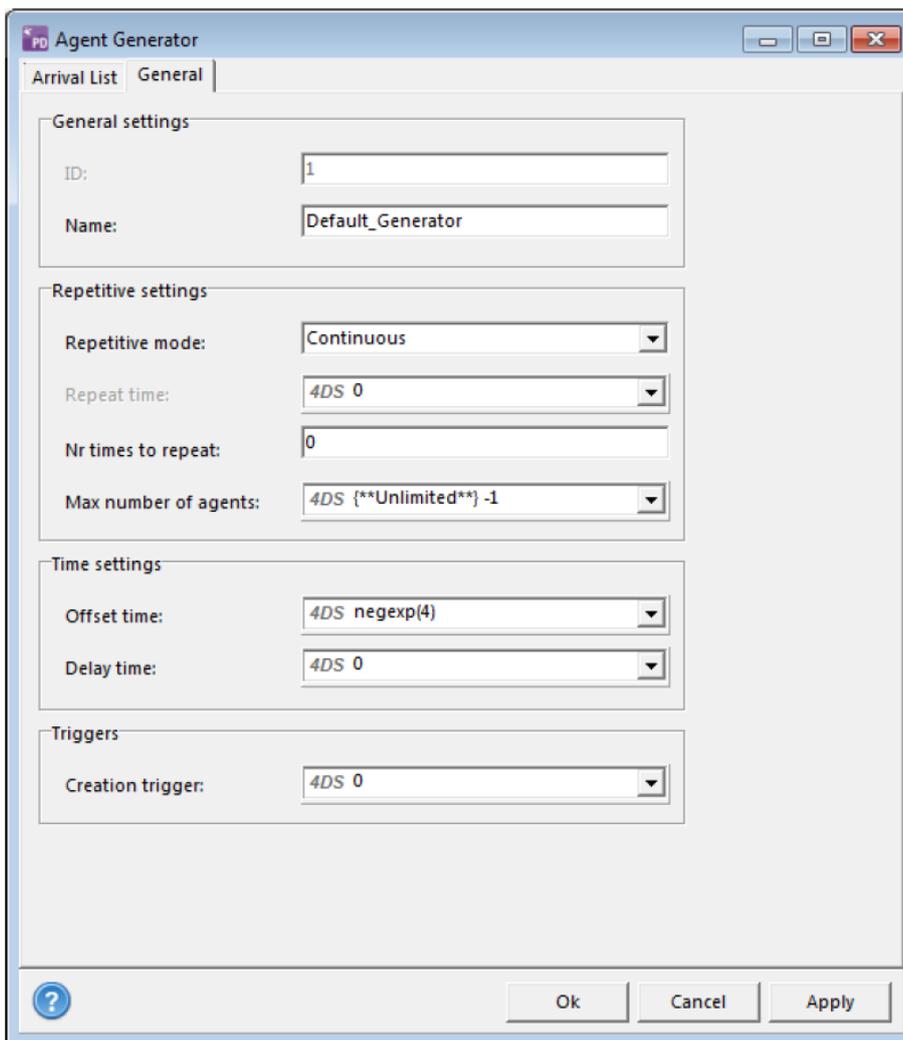


図 4：乱数ジェネレーターとして設定されたエージェント ジェネレーターの全般設定

Row	Creation time	Nr Agents	Activity route	Agent profile	Creation trigger
1	0	1	1	1	0

図 5： 乱数ジェネレーターとして設定されたエージェント ジェネレーターの到着リスト設定

現実では、顧客の大半が2つ以上の売り場を訪れることになるでしょう。顧客の中には複数の売り場を訪れる人がいて、一方で特定の商品の購入を目的として1つの売り場しか訪れない顧客もいます。

練習 2

顧客の大半が複数の売り場を訪れる（1つの売り場だけを訪れる、または、2つまたは3つと最大で五つの売り場を訪れる）ようにします。

顧客が複数の売り場に行くようにするには、アクティビティ ルートを適応させるだけです。このルートに単純に5つの買い物アクティビティを追加すると、すべての顧客がランダムな順序で5つの売り場を訪れます。5つすべての売り場を訪れない顧客をモデル化するには、買い物アクティビティの設定を一部変更する必要があります。基本的には、一定の確率で買い物客にそれぞれの買い物アクティビティをスキップさせます。これをモデル化する1つの簡単な方法は、買い物アクティビティの経験分布のパーセンテージを調整し、パーセンテージの合計が100%にならないようにする方法です（図6参照）。

確率の合計が100%にならない場合、残りの部分は「このアクティビティをスキップする」という意味になります。例えば合計が60%になるように確率を小さくした場合、訪れる人は平均で5つの売り場の60%、つまり大半が2つまたは3つの売り場を訪れるということになります。非常に小さなパーセンテージにすると、すべての売り場をスキップし、すぐに建物から退場します。

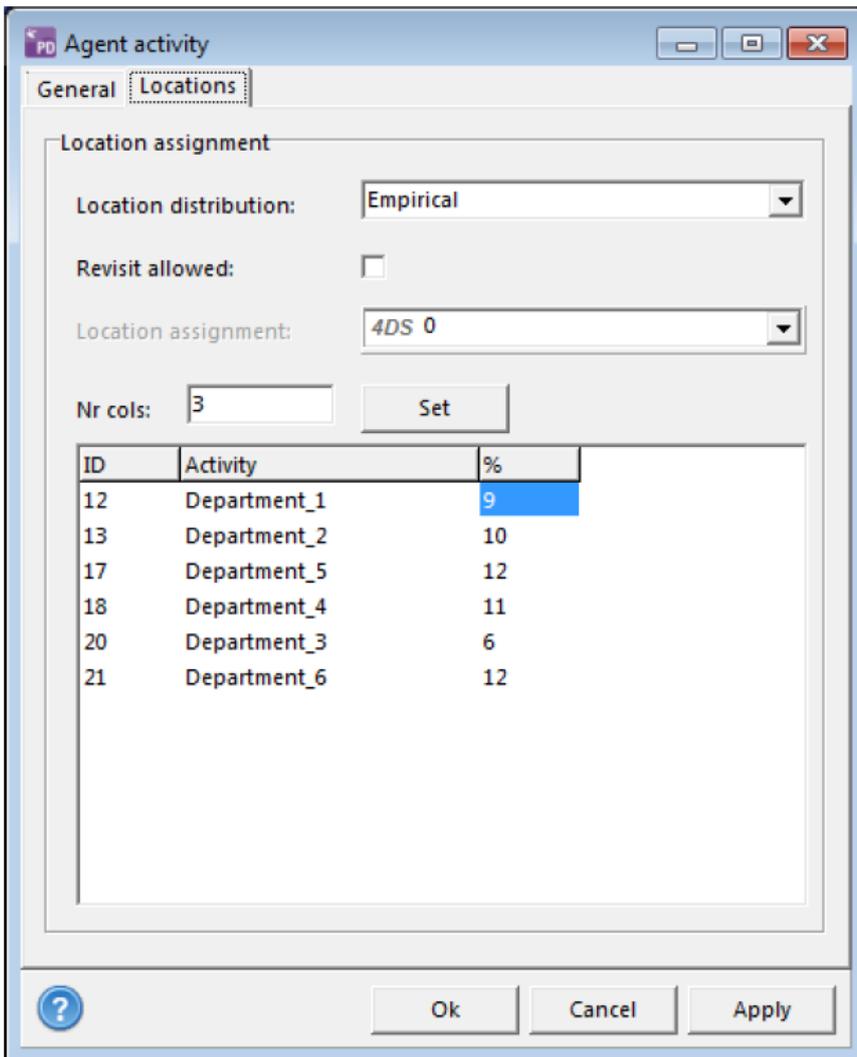


図 6： 買い物アクティビティのロケーション設定。経験分布のパーセンテージが合計で100%ではなく、残りの部分はエージェントがこのアクティビティをスキップする確率となっていることに注目して下さい。

デパートの環境に2階、3階、4階を追加する前に、まず避難モデルを作成します。

4.1 アクション タイマー エレメント

Pedestrian Dynamics®では、避難モデルを非常に容易に作成できます。環境を構築し、エージェントに動作を追加した後は、アクション タイマー エレメントを追加して、正しい設定を適用するだけです。アクション タイマーはトリガーで、インシデントが発生し、避難を開始しなければならない時間を決定することができます。これはもちろん確率分布に基づいて決定させることもできます。また、インシデント後に何が起こるのかをモデル化することも簡単です。アクション タイマーの設定で、これから建物に入ろうとするエージェントの動作、および既に建物内にい

エージェントの反応を決定することができます。エージェントがすぐに避難を開始するのか、それとも出口に向かって歩き出すまでにいくらか時間がかかるのかを決定することができます。さらに、インフラストラクチャへの変更も加えることができます。非常口は非常時のみ使用可能になるようにしておきましょう。アクション タイマーは時計も表示することができ、これはインシデントがすべてのエージェントが建物の外に出るまでに経過時間をカウントし始めた時にリセットすることができます。

練習 3

アクション タイマーをモデルに含め、歩行者が建物の外に出るトリガーを引き起こします。

アクション タイマーは、エリア (Areas) ツールバー上にあります。アクション タイマー アイコンを選択し、モデルの任意の場所に描画します (図 7 参照)。この場合、アクション タイマーを設置する場所は影響を及ぼしません。

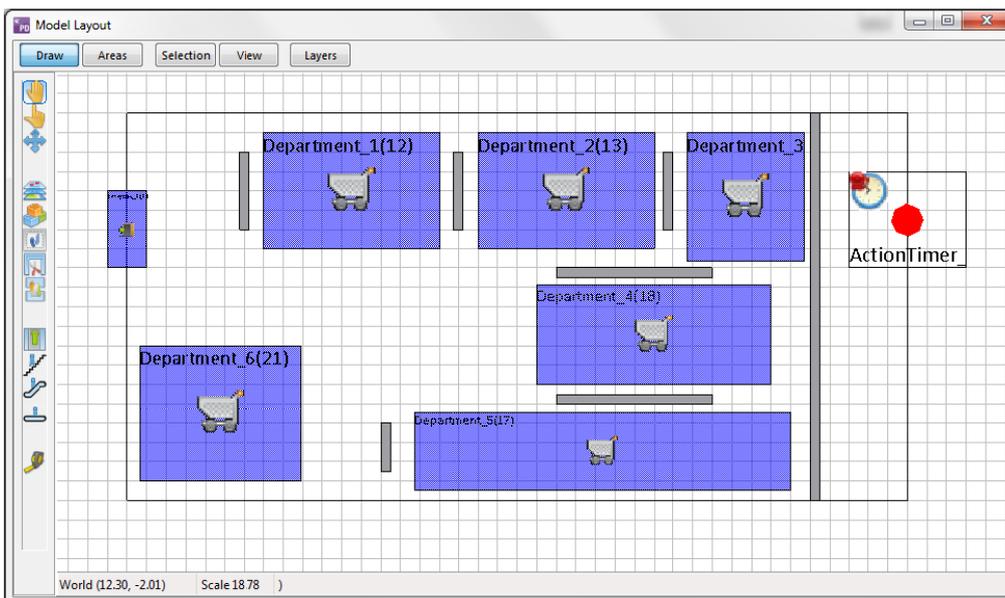


図 7: デパートの 1 階のモデル レイアウト。アクション タイマーは 1 階の右側に描画されています。

アクション タイマーは、インシデントの発生と、それがエージェントとインフラストラクチャに及ぼす影響をモデル化することができます。この場合、アクション タイマーを使用してデパートの警報システムが作動する時間と避難を開始する瞬間をモデル化します。

モデル内にアクション タイマーを作成したら、Emergency_Exit という名前の新しい定義済みアクティビティがアクティビティに追加され、Emergency_route という名前のアクティビティ ルートがアクティビティ ルートに追加されていることを確認します。既定では、エージェントはまだこのアクティビティとルートを使用しま

せん。警報システムが作動したら、エージェントがこのルートを通って出口を見つけるよう、アクション タイマーの設定を変更してみましょう。アクション タイマーをダブルクリックすると、アクション タイマーのダイアログが表示されます（図 8 を参照）。

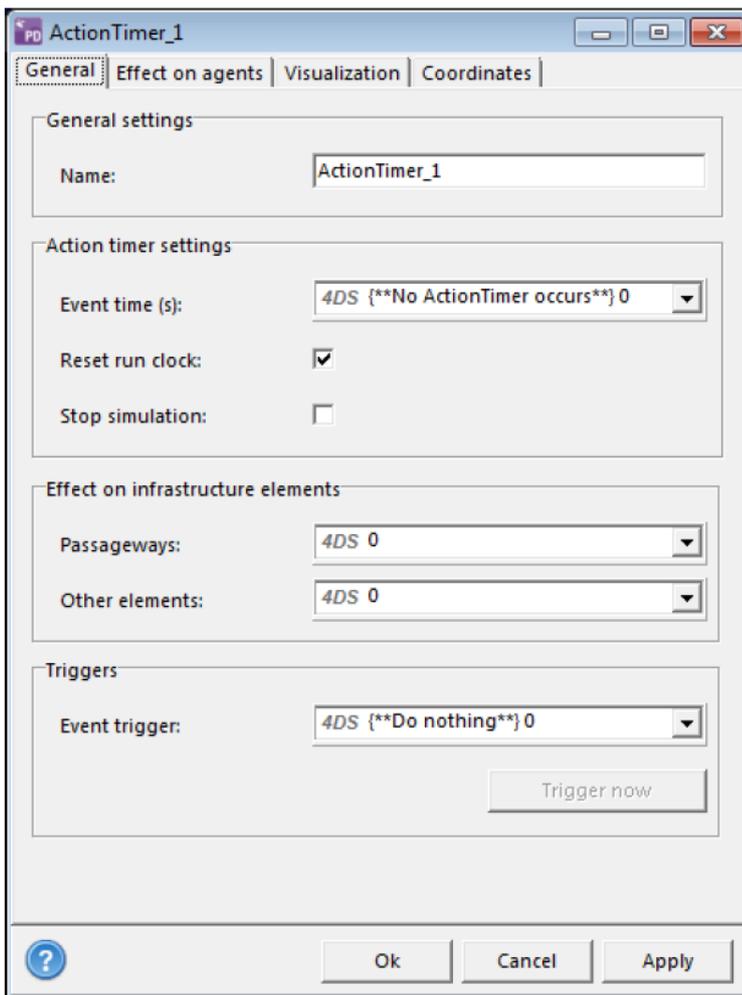


図 8： アクション タイマーのダイアログ

最初の重要な設定はイベント時間です。これはインシデントが発生する時間になります。「実行クロックをリセット (Reset run clock)」オプションにチェックが入っている場合、モデルレイアウト内に表示されている時計はイベントが発生した瞬間にリセットされて赤色に変わり、インシデントの開始から時間をカウントします。シミュレーション時計はリセットされず、シミュレーションの開始からの時間をカウントし続けます。今回のケースでは、インシデントが30分後に発生するように選択します。この時点では、デパートは既にエージェントで満たされています。イベント時間を 1800 秒に設定します。また、4DScript 関数 hr を使用して hr

(0.5) と入力することもできます。「実行クロックをリセット」のオプションがチェックされていることを確認して下さい。
 インシデントによるエージェントの動作に関するすべての変更は、アクション タイマーの「エージェントへの影響」ページで設定できます（図9参照）。

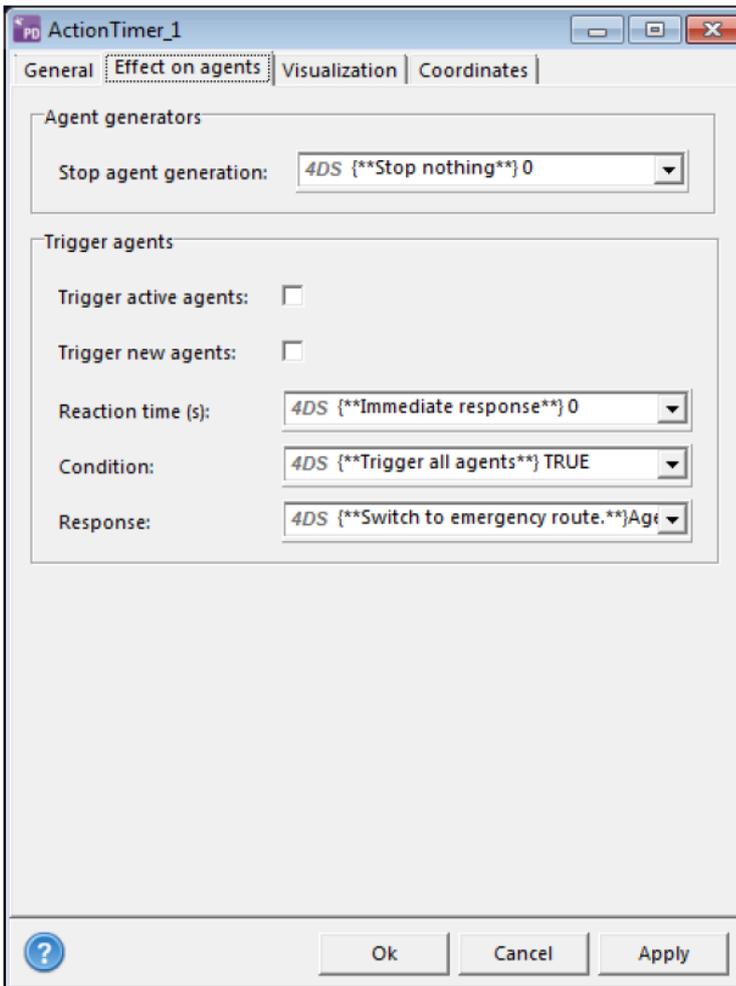


図 9： アクション タイマー ダイアログの「エージェントへの影響」ページ

今回のケースでは、デパートの警報が作動した瞬間から新しいエージェントがデパートに入らないことを想定します。したがって、エージェントの作成を停止する必要があります。アクション タイマー ダイアログの「エージェントへの影響」ページに切り替えます。エージェント作成の停止プロパティで、定義済みのロジック **{**Stop all immediately**}**（すべてを直ちに停止する）を選択します。このロジックでは、すべてのジェネレーターがあらゆるエージェントの作成を直ちに停止します。他のロジックでは、特定のジェネレーターのみを停止させたり、ジェネレーターを一定時間経過後に停止させたりすることができます。1つのジェネレーターが電車から降りるエージェントを作成していることがあるかもしれません。その場

合、駅に到着した電車は電車から降りるエージェントを作成し続けることとなります。

建物内のエージェントはすべてアクティビティ ルートに従います。警報が作動した瞬間、エージェントは計画していたアクティビティを取りやめ、建物の外に出る方法を探さなくてはなりません。今回のケースでは、デパート内の顧客全員がすぐに反応し、出口を探し求めると想定します。この動作は、アクションタイマーの「エージェントへの影響 (Effect on agents)」ページにあるトリガー エージェントグループにある設定で作成することができます。「トリガー アクティブ エージェント」のボックスにチェックを入れます。これで、モデル内のすべてのエージェントは、条件 (Condition) を満たしている場合、イベントが引き起こされた瞬間に一定のリアクション時間 (Reaction time) 後、確実に定義済みのリアクション (Reaction) を起こします。リアクション時間を 0 {**Immediate response**} (即時に反応する) に設定し、エージェントがイベント発生後直ちに反応するようにします。実際には、火災ベルはしばしば無視されます。人々が反応し、出口に向かう行動を取るまでに時間がかかることがあります。これは、リアクション時間でモデル化することができます。条件 (Condition) は、特定のグループだけを反応させるために使用することができます。例えば、任意の階にいる人のみ避難する必要がある場合、反応するのは特定の高さレイヤーにいるエージェントのみとなります。今回のケースでは、すべてのエージェントを避難させたいので、条件はTrue {**No specific condition**} (特定の条件なし) に設定します。最も重要なのは反応そのもので、これはロジックで {Switch to emergency route**} (避難ルートに切り替える) と設定します。このロジックは、既定でエージェントが新しいルートとして Emergency_route を通るようにします。既定では、エージェントは、最小の努力 (LeastEffort) で到達できる出口を選択します。アクションタイマーの設定は図 10 のように行います。

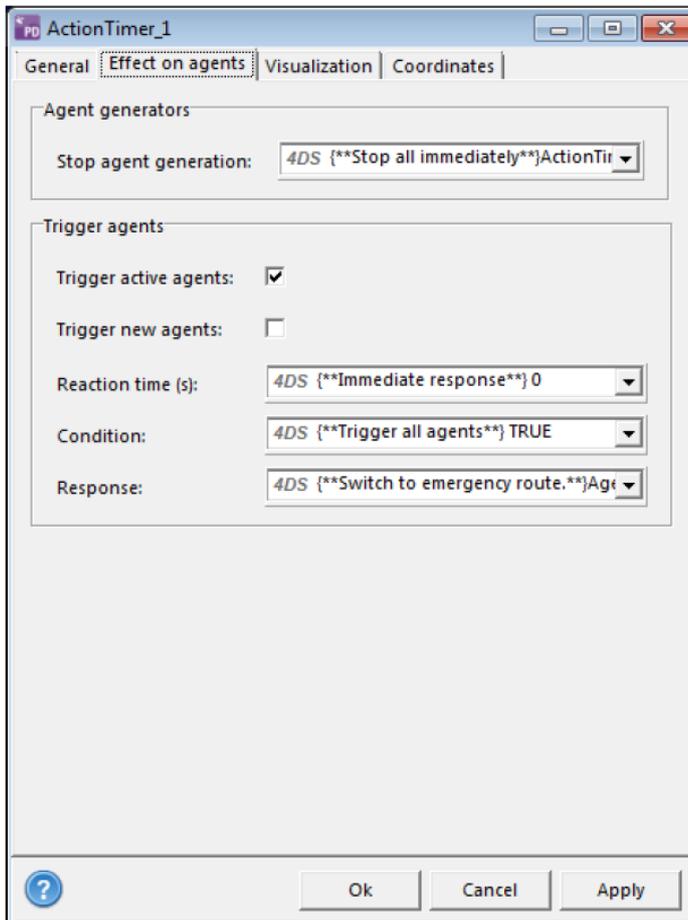


図 10： アクション タイマーの「エージェントへの影響」。インシデント後、すべてのエージェントの作成を停止して、エージェントに Emergency_routeを取らせます。

最後に、アクション ・ タイマーの [全般] ページに切り替えて、「シミュレーションの停止」オプションがオンになっていることを確認します。これで、インシデントが発生した瞬間にシミュレーションが停止します。これにより、インシデントが発生するまでシミュレーションの速度を無制限に設定し、その後、実行コントロール (Run Control) をスライド (Slide) コントロールにして速度を減少させることができます。実行コントロール上の「実行 (Run) 」を再度押して、シミュレーションを開始します。

モデルを実行してエージェントがどのように建物から避難するかを確認し、避難時間を確認します。

4.2 非常口として通路 (Passageway) エlementを使用する

大きい建物はしばしば非常口を有しています。これらの非常口は、通常営業中は使用されません。通路 (Passageway) Elementを使用して非常口を表現できます。通路Elementは、描画ツールバーにあります。通路はエージェントが歩くことが

できる領域で、障害物と重なっている場合、その交差点もエージェントが歩くことができる領域となります。通路は、壁にあるドアを表現できますが、改札口を表現することもできます。エージェントが通路を通過する方向も制御することが可能です。一方向、双方向、さらに使用不可の設定ができます。これらの機能を使用して、緊急時のみ利用可能である非常口を表現します。

練習 4

環境内の非常口を作成します。

描画ツールバーに切り替えて通路アイコンを選択し、デパートの壁を表現している障害物と重なるように長方形の領域を描画します。描画後は図11のようになります。通路の流れ方向を、緊急時には双方向、それ以外の場合は使用不可に制御したいと思います。緑の矢印は、エージェントが通過できる方向を示します。

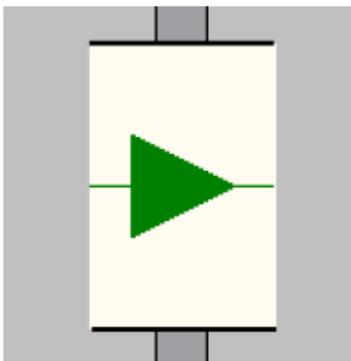


図 11： 通路エレメント

通路には合計で4つの方向設定があります。

- 使用不可 (Unavailable) : エージェントは通路を通過することができません。
- 上方向 (Up) : 上方向から来るエージェントのみ通過できます。
- 下方向 (Down) : 下方向から来るエージェントのみ通過できます。
- 双方向 (Bidirectional) : 両方向から来るエージェントが通過できます。

今回のケースでは、左から右が上方向で、右から左が下方向になります。反対の方向（北-南）に出入口を形成したい場合は、通路を回転させます。

今回のケースでは、シミュレーションの最初の方では緊急事態が発生せず、エージェントが通路の使用を許可されていないので、「使用不可」とします。通路のダイアログを開き、方向を「使用不可」に設定します。また、不快感係数を「0」に設定します。この係数は、エージェントが通り道を計画する際に使用され、値が高ければ高いほど、その通路の魅力が下がります。緊急時には、エージェントはこの非常口の使用をためらいません。

エージェントが非常口を確実に使用するようにするためには、もう1つの入場/退場領域をデパートの外に作成する必要があります（図 12 を参照）。非常階段用のスペースを維持しながら、右下に入場/退場領域を描画します。

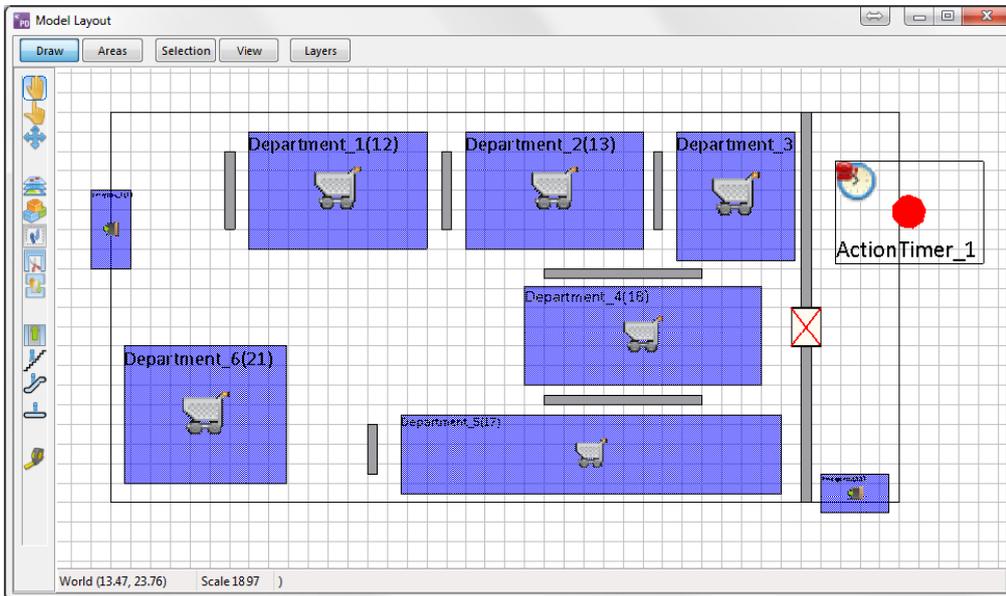


図 12： アクションタイマーとデパートの 1 階のモデル レイアウト。非常口として使用される通路は、インシデント発生前は閉鎖されています。

また、入場および退場アクティビティを変更し、デパートの正面入口 (Entrance) のみがシミュレーションの最初でエージェントの作成に使用され、エージェントがこの入場/退場領域のみを通過して外に出るようにします。[エージェントの入力ウィンドウ]を開き、[アクティビティ] ページに切り替えます。入場アクティビティを編集します。ロケーション分布を経験分布に設定し、デパートの正面入口の入場/退場領域のパーセンテージを100に設定します。退場アクティビティについても同じ操作を行います。

最後に、アクションタイマーが非常口の方向を「使用不可」から「双方向」に変更するようする必要があります。アクション タイマーのダイアログを開きます。通路フィールドを `{**Update all**}` (すべて更新) ロジックに変更します。ロジックをダブルクリックし、関数の 2 番目のパラメータが `DIRECTION_BIDIRECTIONAL` に設定されていることを確認します。

モデルを実行してエージェントが非常口を通過してどのように建物の外に避難するかを確認し、避難にかかる時間を確認します。

4.3 避難モデルでエスカレーターを使用する

緊急時、現代のエスカレーターはスムーズに停止し、制御することが可能です。停止後も、歩行者はエスカレーターの上を歩いて上階または下階に移動することができます。これをアクション タイマーを使用して非常に簡単にモデル化することができます。

練習 5

デパートに新しいフロアを追加し、フロアを接続するエスカレーターを作成します。また、建物の外に非常階段を作成します。

同じレイアウトの複数のフロアの作成は、非常に簡単に行えます。モデルレイアウトの右側に表示されていない場合は、高さレイヤー設定パネルを開きます。パネルを開くには、モデルレイアウトのトップメニューの高さレイヤーをクリックします。今は地上階 (Ground) と名前を付けた単一の高さレイヤーがあるだけです。地上階の高さレイヤーを選択して、選択モードに切り替え、高さレイヤーをクリックします。モデルレイアウト ウィンドウの下部に、ワールド座標、縮尺、そして選択されているエレメントの名前が表示されています。高さレイヤーが選択されていることを確認します。Ctrl + C キーを押して高さレイヤーとそのすべてのエレメントをコピーします。それを貼り付けるには CTRL + V キーを押します。高さレイヤー設定パネルでCopy of Ground (地上階コピー) という名前のレイヤーが表示されることに注目します。

Groundという名前の高さレイヤーの前にある「目」のアイコンをクリックします。Copy of Groundのみが表示されている高さレイヤーとなりました。入場/退場領域とアクションタイマーを削除します。高さレイヤーのダイアログを開いて名前を「First (2階)」に変更し、z-Locを4メートルに設定します。設定後は図13のようになります。商業施設や障害物を移動したり、それらのサイズを変更したりして、2階のレイアウトを地上階 (1階) と異なるレイアウトにすることもできます。障害物や商業施設をいくつか追加したい場合は、2階フロアのレイヤーがアクティブなレイヤーになっていることを確認してください。レイヤーをアクティブなレイヤーにするには、高さレイヤー設定パネルでその名前をクリックします。青色のバーは、アクティブなレイヤーを示しています。

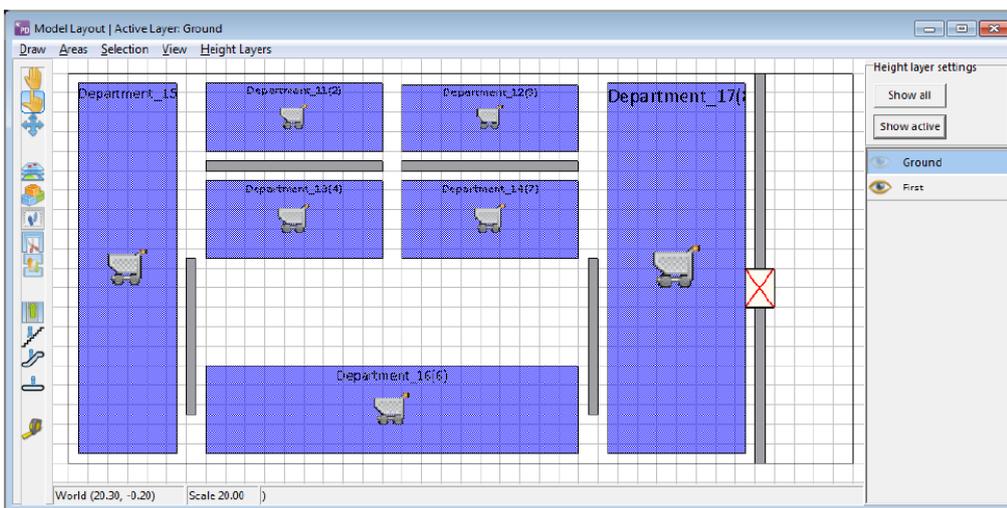


図 13 : 2階フロアの高さレイヤーが表示されているモデルレイアウト

地上階（1階）がまだアクティブなレイヤーとなっています。2つの高さレイヤーを結ぶ接続部を形成する必要があるため、エスカレーターのエレメントを使用します。エスカレーターを描く前に、地上階の高さレイヤーのみを表示させ、それをアクティブなレイヤーにします。お互いの上に2つのエスカレーターのエレメントを描画します。エスカレーターは十字に交差するように構成したいと思います。すなわち、後に他のフロアにエスカレーターを追加した時、同じ方向に進むすべてのエスカレーターが積み上げられるように構成されるようにしていきます（図14参照）。エスカレーターの終わりに交差する2つの傾斜線があることに注目して下さい。線が分かれている側が、下階に接続している側となります。エスカレーターのいずれかを選択し、F7キーを押してエスカレーターを180度回転させます。緑の矢印は上方向または下方向に移動するエスカレーターの方向を示しています。エスカレーターのダイアログを開きます。移動（Transfer）ボックスにチェックを入れ、両方のエスカレーターの「Layer from（移動元）」と「Layer to（移動先）」をそれぞれ1階と2階に設定します。回転させたエスカレーターの移動方向を下方向に設定します。

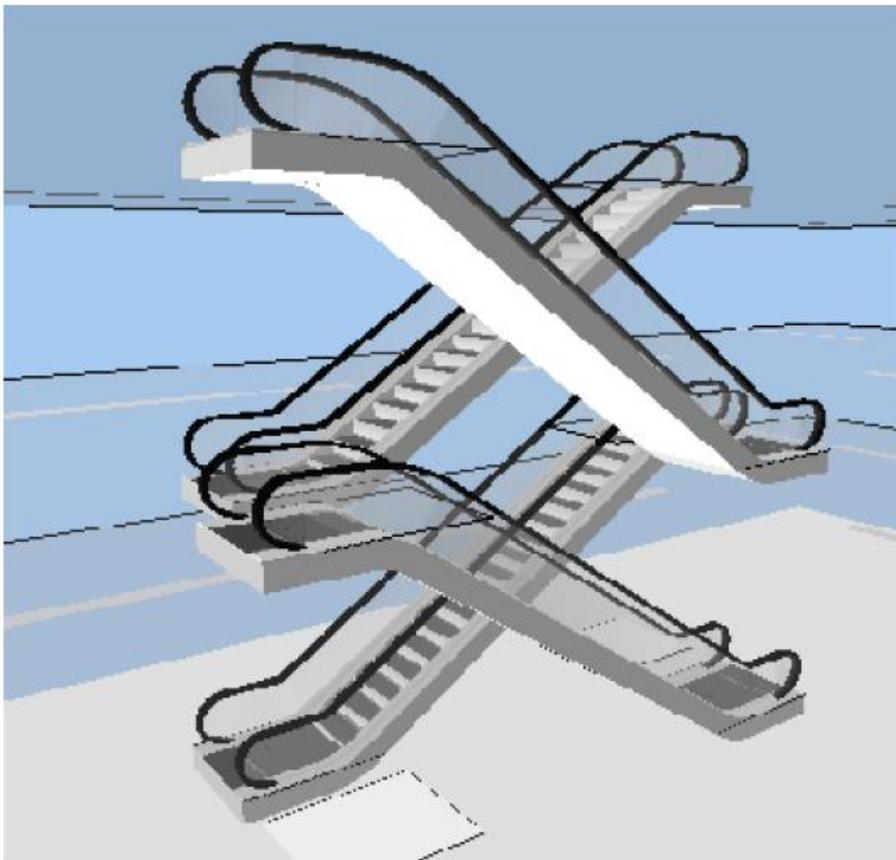


図 14： エスカレーターの十字交差構成

デパートの外に階段エレメントを描画します。270 度回転して適切な長さを与えます。階段のダイアログを開き、「Layer from (移動元)」を1階 (Ground) に、「Layer to (移動先)」を2階 (First) に設定します。設定後は図15のようになります。

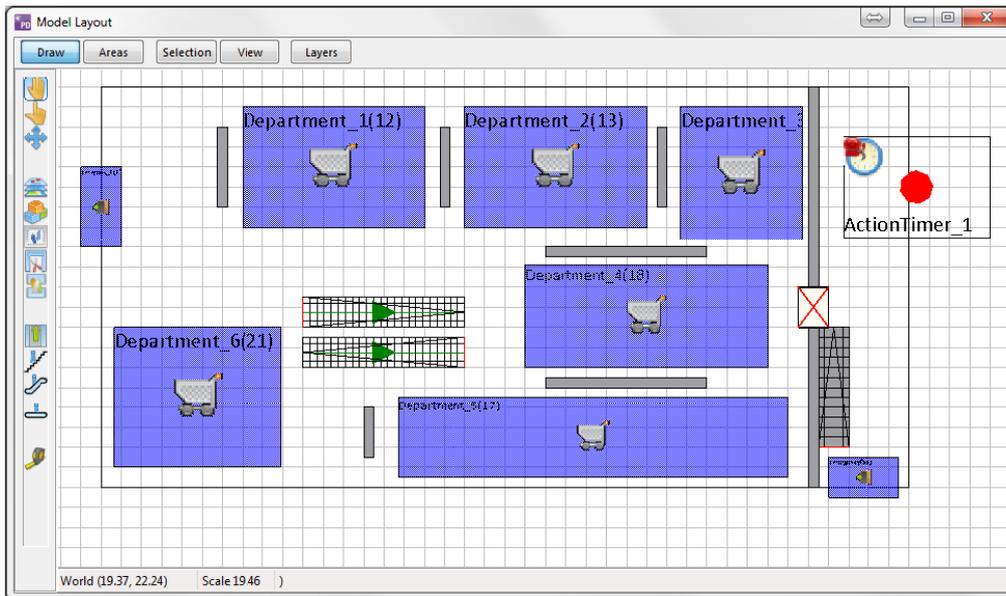


図 15 : 2階フロアの高さレイヤーが表示されているモデルレイアウト

最後に、買い物アクティビティのロケーション分布設定を変更します。買い物アクティビティのロケーション分布は、経験分布に設定されていました。新しい商業施設は表内に表示されていますが、これらのパーセンテージはすべてゼロになっています。[エージェントの入力] ダイアログを開き、買い物アクティビティを編集します。すべての商業施設のパーセンテージがゼロにならないように、パーセンテージを変更します。

モデルを実行し、エージェントが 2 階を訪れることを確認します。インシデント後も、エスカレーターは機能し続け、エージェントは下階への移動にのみエスカレーターを使用できることに注目して下さい。

インシデント後にエスカレーターを停止し、エージェントが階段代わりにエスカレーターを使用することを許可したい場合は、アクションタイマーに変更を加えます。アクション タイマーのダイアログを開きます。「インフラストラクチャに及ぼす影響」グループで、他のエレメントフィールドを **{**Update All**}** (すべて更新) のロジックに設定します。このフィールドは、エスカレーター、階段、動く歩道のエレメントに適用されます。フィールドをダブルクリックし、方向が双方向に設定されていることを確認します。階段は通常、常に双方向で、緊急停止後はエスカレーターも双方向となります。

練習 6

デパートにさらに2つのフロアを追加し、それらのフロアを結ぶエスカレーターを作成します。また、建物の外に非常階段を作成します。

練習 5 の手順を繰り返します。2階のコピーを2つ作成します。新しい高さレイヤーの名前とz-locを変更します。これらのフロアを結ぶエスカレーターと階段の要素を追加します。買い物アクティビティのロケーション分布のパーセンテージを変更し、すべてのロケーションのパーセンテージがゼロ以外になるようにします。モデルを実行し、避難時間を決定します。

5 分析の出力

Pedestrian Dynamics®でモデルを作成し、環境を描画して必要なエージェントの動きを設定したら、実験を実行して環境を通る歩行者流動をシミュレーションすることができます。実行後は、再度シミュレーションを実行することがなく多くの方法で出力結果を調べることができます。環境で発生する歩行者密度や歩行時間に関するあらゆる測定を実行し、出力結果を提示するレポートを簡単に作成できます。このチュートリアルでは、Pedestrian Dynamics®による出力結果を調べる基礎を学習します。また、実験の実行方法と、2D出力ウィンドウから実験結果を測定する方法も学びます。

5.1 駅ホール建設工事

必要な工事を行うため、とある地域の鉄道駅のメインホールは、一部を閉鎖する必要があります。経営陣は乗客の安全と快適性を懸念しており、群衆密度に対する規範が改修中も超過しないようにしたいと考えています。

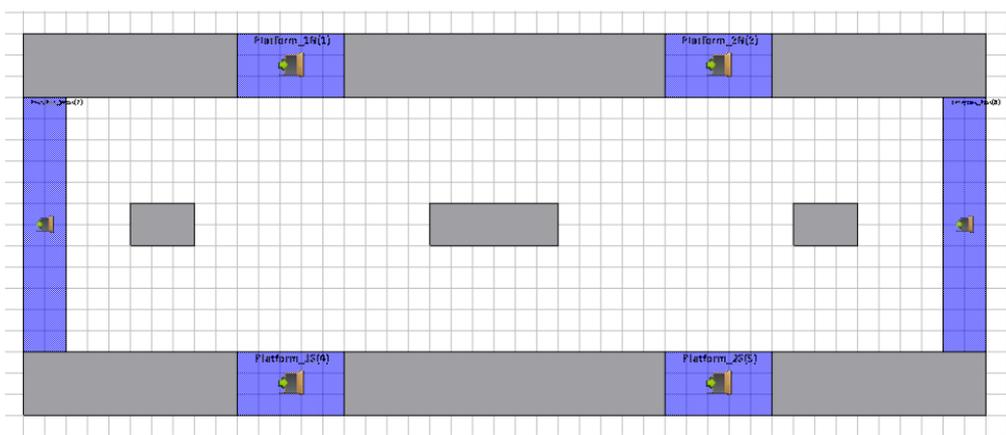


図 1： 駅のメインホールのレイアウト概観

メインホールは、南北に走る2つのプラットフォームの下に位置する東西方向の通路です。駅の概観を図 1 に示します。市内中心部は駅の西側入口に面しており、東側入口よりもかなり多くの人を使用します（西側70%、東側30%）。駅の時刻表は、以下のスケジュールにしたがって30分ごとに繰り返されます。

Time	Platform	# boarding	# disembarking	transfer (%)
X:06 and X:36	1	250 - 300	200 - 250	40%
X:10 and X:40	2	250 - 300	200 - 250	40%
X:22 and X:52	1	250 - 300	200 - 250	40%
X:25 and X:55	2	250 - 300	200 - 250	40%

表 1： 駅の一時間毎の時刻表と交通量の予測

30分毎に、2台の電車がプラットフォーム1に、さらに2台の電車がプラットフォーム2に到着するのがわかります。表では、朝のラッシュ時に各電車に乗車する乗客、それらから降車する乗客の推定数が確認できます。また、表には乗り継ぎのため他方のプラットフォームに移動する乗客の割合も示されています。同じプラットフォーム上で電車を乗り継ぐ乗客は、駅ホールを使用しないため、この表には現れていません。この駅は、朝のラッシュ時に一時間毎に1200人が通る東西連絡通路としても機能しており、その70%が西口から入って東口から出ていきます。

改修工事中駅は駅のメインホールの一部が閉鎖されプラットフォーム間に幅5メートルの回廊が作成されます。これは、図2に示すように西口=プラットフォーム1間、および東口=プラットフォーム2間ものトラフィックを除き、すべての利用客がこの回廊を通る必要があることを意味しています。

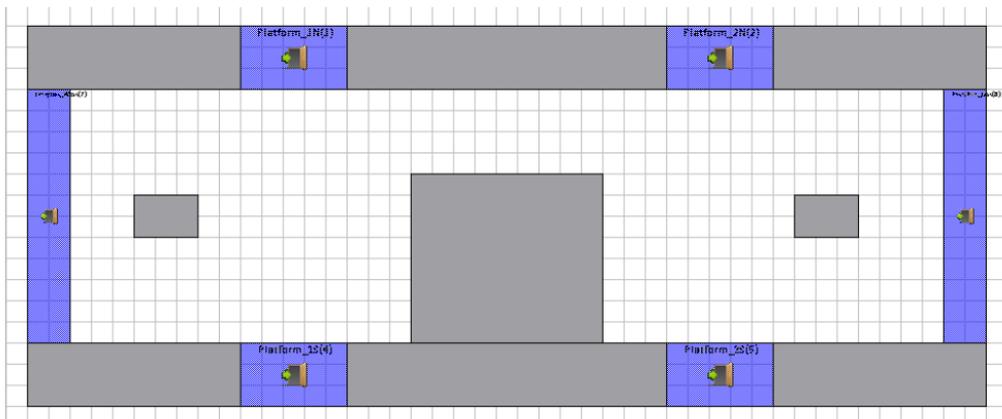


図 2： 建設工事中の駅のレイアウト

練習 1

表1のデータを用いて、一時間あたりに回廊を東から西へ、西から東へ移動する歩行者の予測数を計算してみましょう。また、駅の西口を出入りする歩行者の数を計算してみましょう。これを用いて、後ほどモデルを検証していきます。

モデルの説明

鉄道駅の状況は、station hall construction.mod のファイル内にモデル化されています。このモデルをPedestrian Dynamics®で開き、何度か実行して状況をつかみます。通行人、乗車する乗客、下車する乗客、そして乗り継ぎをする乗客はそれぞれ緑、青、赤、紫と異なる色で表示されていることに注目して下さい。電車到着までの時間を実行すると、乗車予定乗客が次々と到着します。その後、電車が到着すると、電車から下車する人で交通量はピークに達します。

実行の最初の30分は、技術的な理由で乗車予定客が後から現れるため、状況を正確に表したものはまだ言えません。最初の数分間では、通行人のみがモデルに入場します。6分後に最初の電車が現れ、下車する人と乗り継ぎをする人がホームを埋め尽くします。この時点で、モデルは最終的にはそのプラットフォームに30分後に到

着する電車に乗車する予定のエージェントを作成します。これらのエージェントは、現実的な到着パターン、すなわち乗客のほとんどに到着列車が発車する数分前に到着するというパターンとなるよう行動が遅れます。そのほかの列車も同様です。このモデルの結果を分析する際は、これを念頭に置いておく必要があります。

実行中、メインメニューのシミュレーションタブ内の「エージェントの統計情報 (Agent Statistics)」をクリックして、モデル内および各高さレイヤーごとのエージェントの内訳を確認することができます。次のアクティビティに向かって歩いているエージェントの数や、アクティビティを行っている最中のエージェントの数を確認できます。ウィンドウは随時更新されます。エージェントの数に注目するため、モデル実行中にウィンドウを開いたままにしておくこともできます。この特定のモデルでは、エージェントが時間を費やすアクティビティがないので、この場合は常にゼロが表示されます。

練習 2

モデルを実行し、最も混雑する時間に駅に何人のエージェントがいるのかを知ります。この交通量のピークの主な要因はなんでしょうか？

5.2 実験ウィザード

ほとんどの分析ツールは、実行時にデータを記録している場合にのみ適用できます。これは、実験ウィザードで簡単に行うことができます。実験ウィザードには自動的にモデルを複数回実行し、必要に応じて異なるパラメータを使用する機能が含まれています。たとえば、通常予想されるトラフィックで5回実行し、さらにトラフィック25%増の場合でさらに5回実行して結果を比較することができます。各シナリオごとに、複数のシミュレーションの実行が必要となります。これらをレプリケーションと呼びます。これはシミュレーション結果の統計的有意性を確保するために必要です。モデルを一度実行しただけの結果から結論を導くべきではありませんので、各パラメータの組み合わせごとに、複数のレプリケーションを実行し、結果を比較しましょう。

練習 3

実験ウィザードを使用して実験をセットアップします。4回レプリケーションでそれぞれ 1.5 時間実行される 1 つのシナリオを作成します。その後、実験を開始します。

メインメニューの [シミュレート] タブでウィザードをクリックします。ウィザードの概要ページが開きます。同様の設定で多くのシナリオを作成する場合は、[既定値をチェック] ボタンを使用して、新しく作成したシナリオの初期設定を変更できます。今回は、シナリオを1 つだけ作成します。次へ (Next) をクリックして、2 ページ目に移動します。1 つのシナリオが既に定義されています。[編集 (Edit)] をクリックして修正します。シナリオの説明と名前を入力します。出力は PD_Results という名前のディレクトリに書き込まれることがわかります。[編集 (Edit)] を再度クリックして実行の長さやレプリケーション回数などの重要なパラメータを変更します。[Ok] を 2 回 クリックしてメインの実験ページに戻りま

す。次へ (Next) をクリックして、実験ウィザードの 3 番目の最後のページに移動します。

このページでどのデータを記録する必要があるのかを決定し、実験を開始することができます。この実験では、すべての種類の出力グラフを作成できるよう、出力 (Output) と足跡 (Footsteps) 両方をログする必要があります。ここで完了 (Finish) ボタンをクリックするとウィザードは終了しますが、設定はモデルとともに保存されます。ウィザードをもう一度開くと、実験を直ちに開始できるよう、ウィザードがこの3番目のページに開きます。

実験開始をクリックします。ビルダー ウィンドウは閉じられ、時計が動いているのがわかります。時折、Pedestrian Dynamics®が結果をファイルに書き込んでいる旨を知らせるメッセージが現れます。しばらくすると、実験が終了したというメッセージが表示されます。メイン メニューの [結果] タブに切り替えます。ここで、実験実行の結果の分析に特化した特別な 2D 出力ウィンドウを開くことができます。通常、最後の実行で得られたデータは、実験ウィザードの 3 番目のページでこのオプションを無効にしない限り、既に読み込まれています。

別のレプリケーションからデータを開くには、[開く] ボタンをクリックします。ウィンドウが表示され、レプリケーションのディレクトリを選択することができます。実験データは、既定ですべてのデータがPD_Results ディレクトリに保存され、整理されます。PD_Results内の各シナリオには独自のサブディレクトリがあります。つまり、シナリオに一意的な名前を付けることが非常に重要となります。そうでないと、データは上書きされます。シナリオ ディレクトリ内で各レプリケーションは独自の番号が付いたフォルダーを取得します。たとえば、実験 Experiment1 の 2 番目のレプリケーションは PD_Results¥Experiment1¥Rep2 に格納されます。表示させたいレプリケーションを選択し、「読み込み (Load)」をクリックします。2D 出力ウィンドウは常に 1 つのレプリケーションからの結果を示します。複数のレプリケーションを比較するには、ウィンドウを1つずつ開く必要があります。このチュートリアルの後半では、各レプリケーションに関して、その後作成できるレポートのセットアップ方法について学びます。

5.3 結果プレーヤー

実験後、結果プレーヤー (Result Player) を使用して、選択したレプリケーションからのイベントを再生することができます。メイン メニューの [結果] タブにある結果プレーヤー (Result Player) アイコンをクリックし、プレーヤーのコントロールが表示されるのを待ちます (図 3)。

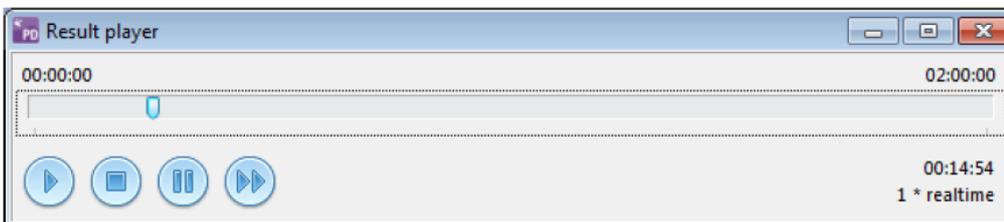


図 3： 結果プレーヤーのコントロール

プレーヤーのコントロールを直感的に使用して、実行のイベントの再生を制御できます。結果は、2D 出力ウィンドウだけでなく、2D ビルダーや3D ビューアーなど

の他の表示ウィンドウでも見るすることができます。右端の >> ボタンでは、再生速度を変更することができます。1 倍、2 倍、3倍、5倍、13 倍、100 倍のサイクルで変更でき、0 倍がリアルタイム速度となります。また、タイムバーをドラッグして早送りや巻き戻しができます。タイムバーを動かした後、アニメーションの再開までに数秒かかる場合がありますが、これは正常です。

5.4 頻度マップと密度マップ

頻度マップと密度マップは、2つの非常に有益で簡単に取得できる分析法です。これらは、共にカラーオーバーレイを使用して、実行中にどの場所が混雑していたかを示します。人が多い場所は赤および紫で表示され、頻度の低い場所は青色で示されます。

頻度マップは純粋なカウンターで、実行の初めから終わりまで、または分析したい任意の時間内においてその場所を通った人の総数をカウントします。図 4 が示すように、色は人の絶対数を表します：床は開始時には白色で、人が歩くと青色にかわり、やがて緑色になったりします。このように、頻度マップは領域の使用率を示してくれます。

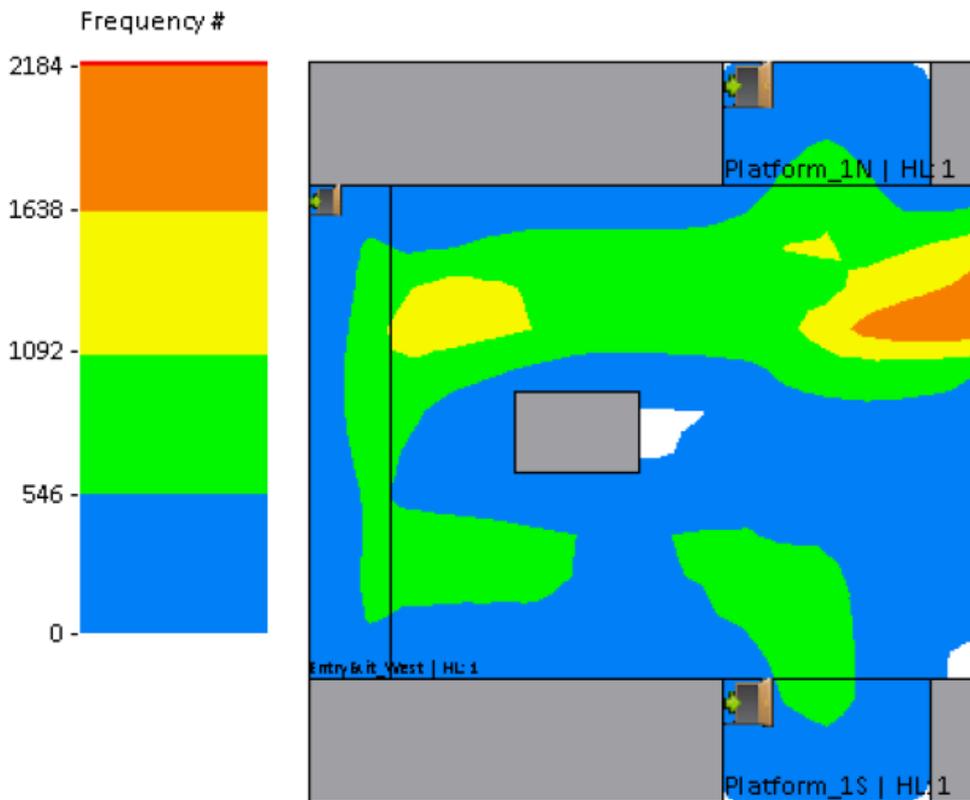


図 4： 駅の西側の頻度マップ。色はそこを通る歩行者の絶対数を示しています。

頻度マップは、単に足跡をカウントし、密度マップはモデルの実行で発生した最大の密度を追跡します。モデルの実行時に任意の地点が非常に混雑している場合、密

度マップではそれを赤や紫で表示します。基本的に、密度マップは時間を短時間間隔の連続に分割し、各時間間隔の間の平均密度を計算して最高の密度を示します。密度マップは、ボトルネック領域やチョークポイントがあるかどうかを迅速に知るのに非常に役に立ちます。

密度マップは発生した最高密度を表示するものであることに、気づいておくことが重要です。これを正しく解釈するように注意する必要があります。まず、このマップからは高密度状態がどれくらい続いたのかはわかりません。高密度が一度でも記録されると、それが 20 秒または 2 時間続いたかどうかに関係なく、場所は紫色で表示されます。これが当てはまるかどうかを調べるには、以下の面積密度グラフの説明を参照してください。次に、密度マップに示す密度は、粒度の設定に大きく左右されます。時間間隔が非常にきめ細かい場合は、データがより少なく、粗い時間間隔で平均されている場合よりも、スパイクが発生する可能性が高いです。

既定では、頻度マップと密度マップは、完全実行からデータを取得します。以下で説明する他の様々なツールについても同様です。しからしながら、より小さな時間間隔に焦点を当てたほうが良い状況が多くあります。たとえば、モデルは空の状態から始まって、最初の数分間は定常状態のモデルを表していないため、その時間は通常除外するのが適切です。また、時刻表のあるモデルについては、特定の時間帯に何が起るかを個別に分析すると興味深いかもしれません。

練習 4

頻度マップと密度マップを使用して駅ホール内の重要な領域を確認してみましょう。複数の実行で得られたデータを比較してみましょう。あなたが目で確認したものを説明しましょう。

頻度マップを表示するには、出力ウィンドウの統計情報ツールバーの「頻度の計算

(Calculate frequency)



」ボタンをクリックします。同様に、「密度の計算

(Calculate density)



」ボタンを押すと密度マップが作成されます。マップ

を消去するには、消去 (clear)



ボタンをクリックします。

このモデルの最初の30分は、初期の登場予定者がいないため、代表的なものではありません。分析対象とする時間間隔を設定するには、出力設定アイコンをクリック



します。開始時刻は 30 分に設定します。Pedestrian Dynamics®は常に秒とメートルを用います。30 分を設定するには、Mins (30) と入力するか、秒単位、つまり $30 \times 60 = 1800$ 秒で時間を表現する必要があります。終了時刻を 0 のままにすると、実行全体が選択されます。

密度マップのサンプル間隔も設定できます（領域も可。以下を参照してください）。このパラメータで、密度測定の粒度を変更できます。上述の通り、この時間間隔の短く（細かく）した場合、短い時間間隔で多くの測定が行われます。これにより、長い時間間隔を使用したい場合に平均化されてしまうような短時間の密度のピークを検出することができます。その一方で、測定値が少ない測定に基づいているので精度が落ちます。より長い時間間隔を選択すると、測定の精度は上がりますが、詳細な測定ではなくなります。今回のケースでは、30 秒の時間間隔で構わないでしょう。

時間粒度に加えて、スペース内の粒度を変更することもできます。これは、[一般設定] ウィンドウの密度規範タブ上でグリッド サイズを変更することで行うことができます。全般設定のウィンドウは、メイン メニューの [シミュレート] タブから開くことができます。時間粒度と同様のトレードオフが、これにも当てはまります。ここで、密度を示すために使用する色を設定することもできます。

頻度マップの色は、通過する歩行者の数がモデルの実行時間の長さに依存するので、少し複雑です。したがって、頻度マップは、それを補うために通常色のしきい値を再調整します。頻度マップ ボタンをクリックすると表示されるウィンドウで、再調整を線形、対数、またはそれを無効にする設定ができます（図 5 参照）。

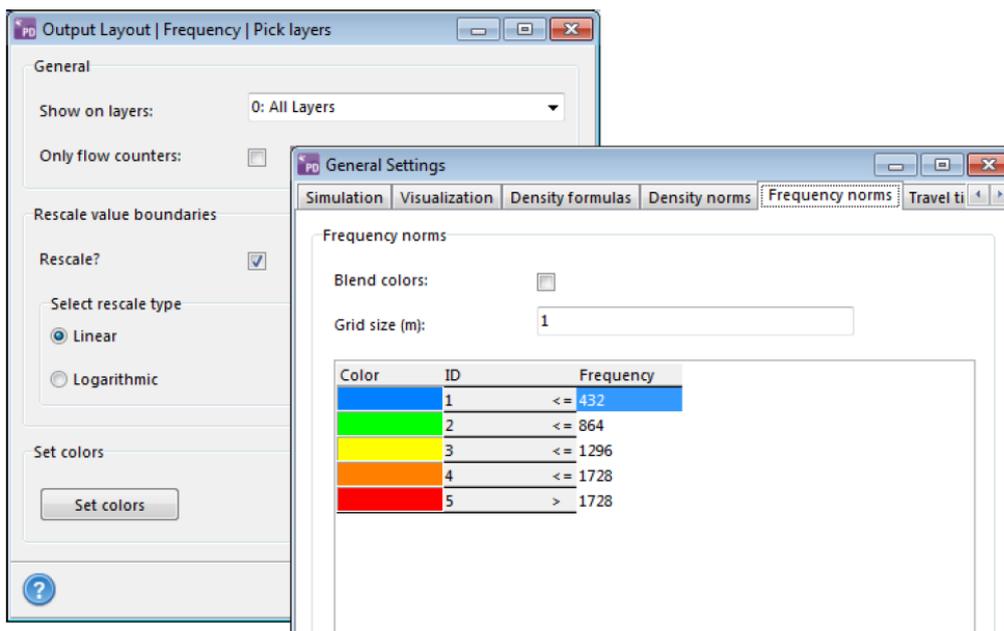


図 5： 頻度マップ ダイアログ。再調整 (Rescale) が有効な場合、線形または対数スケールに従って色が自動的に選ばれます。無効となっている場合は、色を手動で設定することができます。

5.5 フロー カウンター

フロー カウンターは交通の流れを測定するための便利なツールです。フローのカウンターは線分で、2D の出力ウィンドウに描画します。その線を通過した歩行者の数を示します。たとえば、図 6 のフロー カウンターは東西の向きに描画されており、北から南に向かってそれを通過する人と、南から北に向かってそれを通過する人の数を別々に表示します。

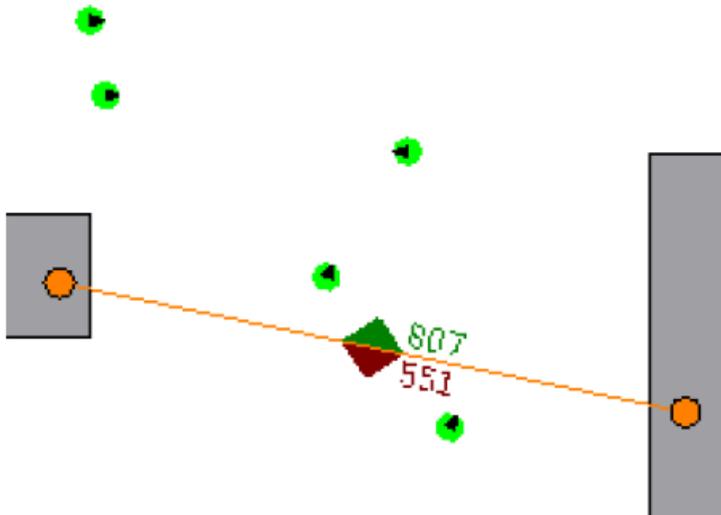


図 6： いずれかの方向に向かって線を通過する人の数を示すフロー カウンター

フロー カウンターを描画するには、2D 出力ウィンドウの [描画] メニューを開き、フローカウンターのアイコンをクリックします。線図形を選択し、駅の回廊を横切るように北西（※東西の誤り？）に描画します。すぐにカウンターが表示されます。選択モードに切り替え、線分の端点を移動すると、カウントが直ちに更新されます。

フロー カウンターは、時間をかけて、線分を通過する流動量を表示するグラフを簡単に作成できる非常に素晴らしい機能があります。これを行うには、選択モードに切り替え、フロー カウンターをダブルクリックします。グラフがすぐに表示されます（図7参照）。グラフは2つの時間連続を示しています。1つは左から右、もう1つは右から左で、左と右は制御地点 1 から制御地点 2 への方向を基準にして決定されています。通常、2D 出力ウィンドウのフロー カウンター上で、矢印の色と線の色を比較するのが最も簡単です。

また、グラフ内でマウスをドラッグして、ズームインしてもよいでしょう（左上から右下へドラッグすると、選択したパーツをズームインし、右下から、左上に向かってドラッグすると、ズームがキャンセルされます）。

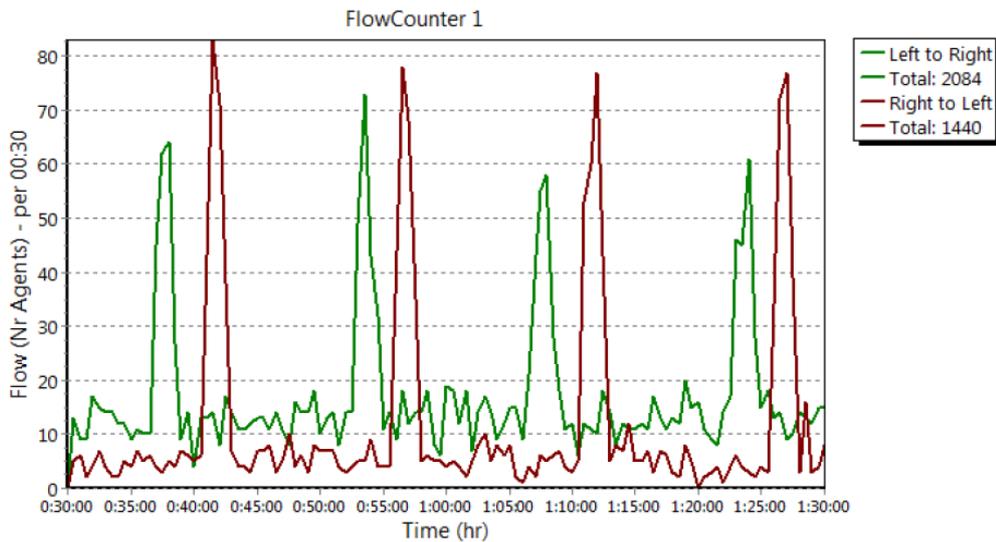


図 7: フローカウンター線をクリックして得られたフロー カウンター グラフ横軸は、時間を示しています。垂直軸は、時間単位ごとのエージェント 内の流れを示しており、この時間単位は通常 30 秒で、出力設定で設定できます。

練習 5

モデルの検証フロー カウンターを使用して回廊内の流れを測定し、練習 1 で行った計算を用いて結果を比較しましょう。

5.6面積密度ヒストグラム

フローカウンターから取得することができるフロー グラフと同様、特定の領域で密度が時間の経過に伴ってどのように変化するかを見ることも可能です。2D 出力ウィンドウを開いていることを確認し、[図形描画] ツールバーの面積密度 (Area Density) アイコンをクリックし、図形を選択します。次に、モデル内の興味深い場所に領域を描画します。選択モードに切り替え、領域をダブルクリックすると、図 8 のようなグラフが表示されます。

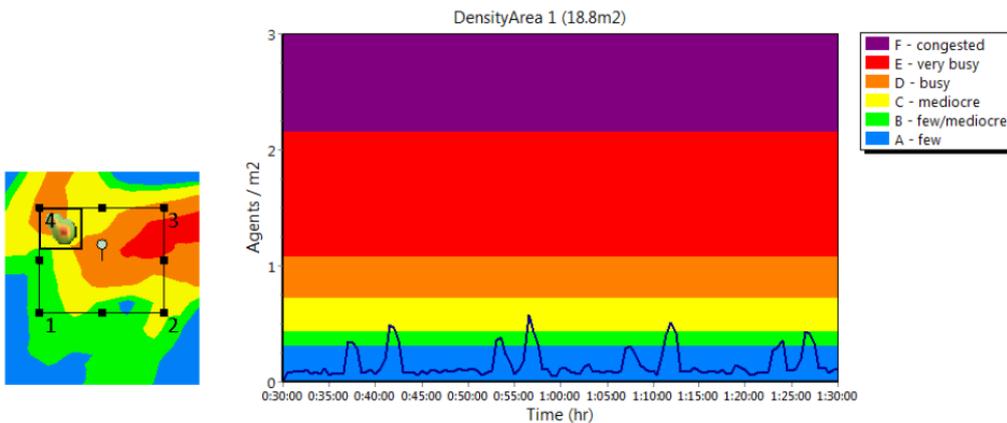


図 8：面積密度グラフ。横軸は時間を示しています。垂直軸は、群集密度を人/m²で示します。

面積密度グラフは、密度マップの紫色が深刻な過密なのか、またはそれがほんの数秒続いたスパイクかどうかを調べるために非常に便利です。

練習 6

駅ホールの密度の高い領域を調べ、紫色の領域が深刻な過密状態なのか、スパイクなのかを決定しましょう。長い時間間隔に切り替え、グラフに及ぶ影響について説明します。

5.7. 歩行時間

歩行者がA地点からB地点まで歩行するのにかかる時間を測定するのは、多くの場合、非常に重要です。例えば、鉄道駅では、歩行者が1つのラッシュ時に1つのプラットフォームから他のプラットフォームへ移動するのにかかる時間を知る必要があります。また、避難状況では、どの脱出ルートが最長なのかを知ることが重要です。Pedestrian Dynamics®はこれを測定するツールを提供します。2D出力ウィンドウの統計情報ツールバーで、歩行時間 (Walking Time) アイコンをクリックします。1つまたは複数のルートを設定することができるウィンドウが開きます。ルートは1つのアクティビティから他のアクティビティへと続き、グラフは正確にこのルートを通る歩行者に制限されます。既定では、入場アクティビティから任意の退場アクティビティに直接行く1つのルートが作成されます。鉄道駅モデルでは、これはすべての歩行者と一致します。

既定のルートを選択し、[グラフに表示 (Show Graph)] をクリックします。歩行時間ヒストグラムは、2つの非常に幅の広いバーで示されます。これは、このモデルでは歩行時間が非常に短いためです。グラフを閉じ、既定のルートを編集します。時間間隔を30秒ではなく10秒に設定します。これを保存し、グラフを再度表示すると、図9のようになります。

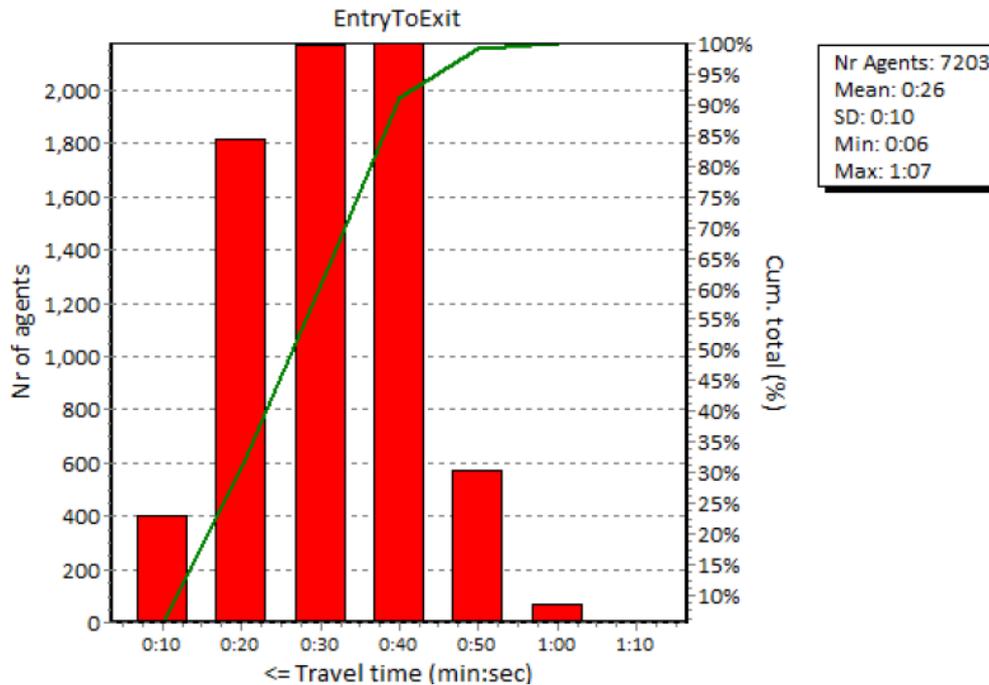


図 9： 入場アクティビティ（入口またはプラットフォーム）と退場アクティビティ（同様に入口またはプラットフォーム）間のすべての歩行者の動きを示した歩行時間ヒストグラム1番目のバーは、10秒未満で移動したエージェントを示しています。2番目のバーは、10～20秒かかったエージェントを示しています。

たとえば、プラットフォーム間を移動する乗客等、特定のカテゴリの乗客に焦点を当てると、勿論より興味深いものとなります。

練習 7

1 つのプラットフォームから別のプラットフォームへ移動する乗客の歩行時間ヒストグラムを作成します。

統計情報ツールバーの歩行時間アイコンをクリックします。追加をクリックして新しいルートを追加します。前回のグラフ同様、時間間隔を調整します。既定のルートのように、新しいルートは任意の入場から退場アクティビティまでのルートになりますが、より具体的にすることもできます。入場アクティビティをクリックし、その上の設定でグループ「Platform」を選択します。その下のドロップダウンで、より具体的な選択が自動的に現れ、Platform 1-Northのみを選択します。*** All of this Type & Group ***（このタイプとグループのすべて）を選択します。更新をクリックします。テーブルの行が変更されるのがわかります。その後、同じ変更を退場アクティビティにも加えます。適用をクリックし、グラフを表示します。

5.8レポート

複数のレプリケーションからの結果を比較するときは、すべてのレプリケーションから同じ表、グラフ、数字のセットを作成すると便利です。これはレポート

(Report) 機能を使って行うことができます。このツールを使うことで、必要とする情報を指定し、クイック一回でレプリケーションのクイックレポート (QRP) を作成できます。その後、レプリケーションのレポートを簡単に比較することができます。既定では、レポートには完全なエージェントの統計情報の表とすべてのフローカウンター、密度領域および歩行時間ヒストグラムが含まれます。たとえば、密度と傾度マップのスクリーンショットを追加することもできます。レポート機能にアクセスするには、メインメニューの [結果] タブでレポート (Report) をクリックします。

5.9 基準の決定

現在の建設工事計画が受け入れられるものであるかを決定する前に、受け入れ可能基準を決める必要があります。一般に、移動群衆において4人/m²を超える密度は、非常に危険です。2と4の間の偶数値は望ましくないと見なされます。ただし、たとえばスポーツスタジアムの入場過程を見た場合、より高い密度となっていることは珍しいことではありません。これは、高密度が限定的な時間でのみ発生し、適切な群衆管理対策が取られている（例えば群衆の流れを監視して誘導するスチュワード等がいる）場合にのみ、安全であるといえます。

多くの歩行者が横切らなければならない駅ホールでは、密度はこれに対応して低くする必要があります。今回のケーススタディでは、密度が一般的に1平方メートルあたり1人以下にする必要があります、この基準からの逸脱は時折であれば発生してよいものとします。密度は、1時間あたり3回までこの1人/m²を超過することが許されており、超過は60秒を超えないものとします。2.5人/m²以上のピークはいずれの場合でも許容されません。1 x 1メートルのグリッドサイズで30秒の測定間隔でこれらの基準に基づくこととします。

練習 8

4つのレプリケーションを調べ、基準が満たされているかどうかを確認してみましょう。ツールをどのように使用して自身の結論に至ったかを説明しましょう。

出力設定で、面積密度グラフに描かれる最大しきい値長さ (maximum Threshold length) と許容しきい値 (Approval Threshold) を設定できます。グラフは、しきい値を超えたデータ地点の数も示してくれます。ただし、これらのツールを使用しても、グラフのピークを視覚的に検査すると役に立つことがあります。測定によっては、重要しきい値を超えたデータ地点が3つある密度ピーク、または1つまたは2つの地点があるピークが幅広く見えるかもしれません。ピーク周辺にある上に高く伸びており非常に細いボックスをドラッグして、ズームインします。グラフ線が曲がる場所を探します。これらが実際の測定値となります。これを使用して、ピークの重大度を上手く判断できます。

6 メソ vs ミクロ シミュレーション

Pedestrian Dynamics®は、大規模インフラストラクチャと、それを通過する大人数の人をシミュレートし、評価するためにデザインされています。いわゆるメソスケールでモデリングすることで、Pedestrian Dynamics®は何万人ものエージェントから構成される群衆を伴うモデルに対処できます。しかし、メソスケールアプローチが歩行者流動を十分に予測できない場合もあります。このような場合、シミュレーションはいわゆるミクロスケールでも実行できます。このアプローチは、歩行者の動きをより詳細に表現して、正確な結果を提供しますが、計算に負荷がかかります。

本章では、Pedestrian Dynamics®で適用できるメソシミュレーションやミクロシミュレーション等の異なるモデリング アプローチに関する情報、そしてミクロシミュレーションがメソシミュレーションよりも好まれる例を紹介します。

6.1 歩行者流動のモデリングのためのシミュレーション法：マクロ、メソおよびミクロシミュレーション

文献では、歩行者流動をシミュレーションするモデルは、通常マクロ的モデルとミクロ的モデルに分類されます。マクロ シミュレーション モデルは、全体的な群衆の挙動に焦点を当てます。たとえば、油圧モデルは、モデル内の各所において、流体のように、群衆の運動を密度と運動方向として表現します。ミクロ的モデルでは、各歩行者は、その挙動と共に、他のエージェントとの接触を考慮して個別に表現されます。衝突回避はミクロシミュレーション モデルの重要な側面です。

モデリングの3つ目のスケールは、メソスケールで、これは他のスケールと異なります。このスケールでは、歩行者の個性は維持されますが、計算的に集中的な衝突回避は省略されます。メソスケールでの歩行者群衆のシミュレーションは、したがって歩行者の多数が同時に動くような大規模なインフラストラクチャの評価に適しています。多くの場合、このスケールの詳細では、十分な情報と許容できる精度がもたらされますが、一般的にメソスケールシミュレーションは、ミクロ的レベルよりも比較的楽観的な結果をもたらします。

場合によっては、ミクロ的モデリングが必要、または好まれる場合があります。例えば、環境の特定のレイアウトとその環境内の歩行者の動きが結果で大きな差異を生み出している場合等です。これらのケースでは、ミクロレベルよりも詳細ではないメソシミュレーションは、状況において重要なプロパティを捉えられませんが、ミクロシミュレーションではより正確な結果が得られます。たとえば、反対向きや交差する流れがある場合や、流動がボトルネックの最大容量付近になっている場合等です。また、高いレベルの精度が必要な場合はミクロシミュレーションをお勧めします。

Pedestrian Dynamics®は、ミクロとメソスケールのモデリングを提供します。単に1つのモデルを構築し、ミクロまたはメソスケールのいずれかで実行することができます。これは、「エージェントの衝突を回避する (Avoid agent collision)」チェックボックスで行うこともできます。このチェックボックスは、メインメニュー

のシミュレートページの全般設定にあります。このオプションのチェックがオンになっていると、シミュレーションは、群衆密度が一定のしきい値に達するモデルのそれらの部分においてミクروسケールで実行されます。全般設定の密度いき値のプロパティが 0 に設定されている場合、すべての接触がミクروسケールでモデル化されます。

6.2 人間の歩行動作のモデリング

Pedestrian Dynamics®では、環境内を通過するエージェントの動きは、エージェントのアクティビティルート（エージェントが環境内で実行する予定のアクティビティリスト）によって決まります。各アクティビティに対して、どのアクティビティロケーションで任意のアクティビティが実行できるのか定義できます。エージェントは、そのエージェントに関して定義されたロケーション分布に基づいて、アクティビティロケーションの1つを選択します。次に、エージェントは、ロケーション内の特定の地点をそのロケーションのロケーション接近（Location Approaching）プロパティに基づいて選択します。エージェントがアクティビティを実行するには、まずその地点に到達しなければなりません。

エージェントは、その開始位置から次のアクティビティロケーションにある目標地点へのルートを見つけます。これを行うには、エージェントはまず環境内を通る一般ルートを選択します。このルートを移動する際、局所の状況がエージェントに影響を与え、最終的なパスを決定します。この局所挙動は、ミクروسケールまたはメソスケールでモデル化できます。一般的に、エージェントは、エージェントプロフィール上の確率分布で決められる自分の好みの速度で歩こうとします。しかし、地形や特に他のエージェントの存在などの局所状況により、エージェントはより遅い速度で歩いたり、方向を変えたりする必要が出てくることもあります。

一般的なルートを決定する

Pedestrian Dynamics®では、エージェントの開始時点から目的地点までの一般ルートの検索に明示的回廊マップ（ECM）が使用されています。このマップは、歩行可能空間全体を記述し、シミュレーション実行が開始されると自動的に作成されます。このマップの重要な部分は、中心軸です。中心軸は、歩行可能空間の中央を描いた曲線群です。中心軸は環境のグローバル構造体を表します。ルート決定の際、エージェントの開始地点および目標地点がまず中心軸上の点にマッピングされます。その後、最小努力の原則に基づき、これらの点の間の中心軸に沿ってルートが計算されます。これは、まだ歩行者にとって理想的なパスではありませんが、エージェントが目的地に辿り着ける回廊を描いています（図1c参照）。この回廊内には、開始地点から目標地点を結ぶ多くの可能なパスがあります。たとえば、エージェントは、回廊の左側または右側に沿って歩くか、最短の可能なパスに従うことを選択できます。いわゆる指示ルート法（IRM）では、回廊を通る現実的なパス（指示ルート）を選択します。指示ルートは、エージェントが目的地に到達するために従おうとする一般ルートです。

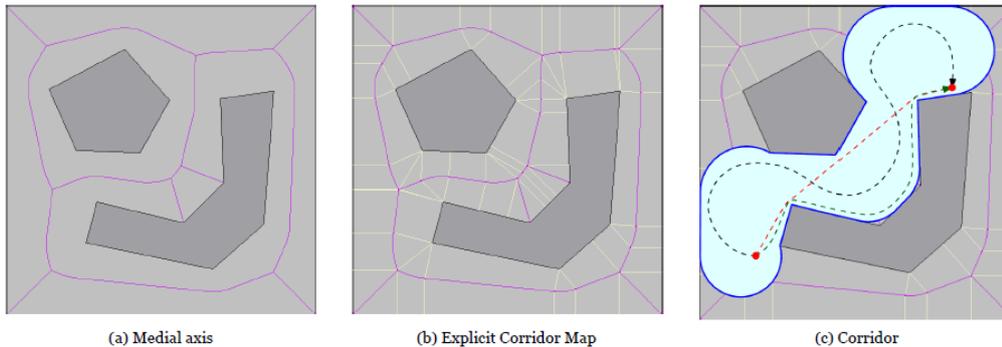


図 1: (a) 紫色で示された中心軸。歩行可能空間の真ん中を通っています。
 (b) 黄色で示された直近地点アノテーション。中心軸をECMのナビゲーションメッシュ変えています。(c) 青色で表示された回廊。点線は、開始地点から目的地までの回廊を通るいくつかの可能なルートを示しています。

- (a) 中心軸
- (b) 明示的回廊マップ
- (c) 回廊

中心軸に沿って最小努力のルート进行計算するアルゴリズムで使用される正確なコスト関数は、マニュアルを御覧ください。このコスト関数では、ルートと環境に沿った混雑度が考慮されます。たとえば、階段はエスカレーターと比較して使用するのに魅力を感じず、エージェントは傾斜領域ではゆっくりと歩くでしょう。これらの環境における影響は通常、不快感係数として表されます。これは、階段やエスカレーターなどのインフラ関連プロパティであり、ユーザーが変更することができます。

中心軸に沿って一般ルートを探したり、指示ルートを探したりするのに使われるパラメータは、エージェントプロファイルの最初の3ページにあります。エージェントプロファイルは、メインメニューのシミュレートページから「エージェントの入力設定」に行き、そこから作成・編集することができます。たとえば、見渡し距離は、エージェントが群集領域を考慮できる距離です。「定期的にルートを再設定する」オプションを有効にして、エージェントがそれぞれの新しい期間の初めに一般ルートを再考慮するように時間間隔を設定することもできます。エージェントは、混雑領域が変わったり、エージェント自身が見渡し距離内に混雑領域があることに気づいたりした場合、異なるルートに切り替えることがあります。エージェントプロファイルの「ルートに従う」のページで、指示ルートを見つけるために使用されるパラメータが確認できます。側面優先では、回廊の片側に向かってバイアスが与えられます。一方、クリアランスの好みでは、エージェントが障害物に対して取ろうとする距離を設定します。

各シミュレーション実行の開始時に、環境を通る一般ルートの決定に使用される明示的回廊マップ (ECM) が計算されます。このマップは、メインメニューのシミュレートページのボタンを使用して、手動で作成・消去することもできます。

メインメニューの表示 (Display) ページ上の、「ECMネットワークを表示する (Show ECM Network)」のセクションに、図1のようにECMナビゲーションメッシュの異なるエレメントの可視性のオン・オフができるボタンがあります。左から右に向かって、中心軸、頂点、ノードと直近地点のボタンがあります (図1b参照)。

非常に大きなモデルを扱う場合、ECMネットワークの作成には数分かかる場合があります。ネットワークが作成された後、必要に応じてファイルに保存できます。モデルと同じ名前で保存すると、自動的に読み込まれます。その後シミュレーションを実行すると、ECM は再計算されず、読み込まれたネットワークが使用されます。メインメニューのファイルページのECMネットワーク セクションにあるボタンを使用して、ネットワークを保存できます。

マイクロモデルにおける局所挙動

エージェント の局所挙動をモデル化する様々な方法があります。局所挙動は、他のエージェント との接触の影響をモデル化します。Pedestrian Dynamics®は、視覚ベースのアプローチを使用します。各エージェントは、エージェントが直接感知することができる環境の一部を決定する視野を持ちます。それはエージェント の位置から始まる円錐型の視野です。その視野内にいるエージェントのみ、衝突回避において考慮されます。エージェントが各シミュレーションステップの最終目的地に向かう指しルートを沿って移動する間、速度や方角の小さな調整が行われ、これらの衝突を回避します。調整を決定するのに使用されるアルゴリズムは、最初の衝突までの距離と、局所目的地までの距離からの偏差を考慮します。アルゴリズムは、速度と方角を決定し、衝突の回避に最もエネルギー効率の良い方法を探します。速度の変更はエネルギーを必要とし、小さな迂回をすることは最短パスよりも効率が良くなります。局所の歩行動作に使用されるパラメータは、エージェント プロファイルでも定義できます。それらのほとんどは、視野 (FoV) を決定します。

メソスケール モデルにおける局所挙動

メソスケールでは、エージェントの速度もまたシミュレーション ステップごとに調整され、ここでも他のエージェント との接触の影響をモデル化します。これらの調整は、ミクロスケールでは、より粗いスケールで行われます。速度は特定の近くのエージェントとの接触のために調整されるわけではなく、一般的な局所混雑度に基づいて行われます。エージェント が一般的な指しルートに従う一方、各シミュレーションステップでは、新しい速度が速度密度関係に基づいて決定されます。ECM は、モデルの各多角形領域における歩行者の現在の数を追跡します。図 1 b にこれらの領域は白い線でマークされます。これらの局所密度のカウントは、エージェント 周辺の局所密度の決定に使用されます。

エージェント は特定の個人を避けるのではなく、局所の混雑度に反応するだけなので、エージェント がお互いの間を通過しているように見えることも起こりえます。これは非現実的に思えるかもしれませんが、お互いを避けるエージェントの影響は実際、エージェントの歩行速度を決める速度密度との関係に組み込まれており、この影響に対する最初の良い推測を得られます。メソスケールでシミュレーションを

実行すると、ミクروسケールで実行するよりも現実的ではなくなりますが、得られる結果はそれでも有益となります。特に、処理能力や密度の蓄積の測定を主に行いたい場合は、メソスケールで十分でしょう。

参考文献

本チュートリアルに記載されている歩行行動をモデル化するための技術は、科学的研究に基づいており、文献で確認することができます。Pedestrian Dynamics®は、オランダのユトレヒト大学 (Utrecht University) と共同で開発した効率的な群衆シミュレーションアルゴリズムとソフトウェアを使用しています[1]。関心のある読者の皆様は、明示的回廊マップ (ECM) に関する詳しい情報を[2]、[3]、[5]で確認することができます。表示ルート法に関する詳しい情報は、[4]を御覧ください。Pedestrian Dynamics®が使用する衝突回避アルゴリズムは、Moussaïd、Helbing および Theraulazによって開発された視覚ベース モデルに基づいています [6]。

[1] Utrecht University - <http://www.uu.nl/EN/>

[2] R. Geraerts. “Planning Short Paths with Clearance using Explicit Corridors.” (『明示的回廊を用いたクリアランスを伴う短距離進路の計画』) In IEEE International Conference on Robotics and Automation (ロボティクスとオートメーションに関するIEEE 国際会議) (ICRA’10), pp. 1997-2004, 2010.

[3] W.G. van Toll, A.F. Cook IV および R. Geraerts. “Navigation Meshes for Realistic Multi-Layered Environments.” (『現実的多層環境のためのナビゲーションメッシュ』) In IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (知能ロボットとシステムに関するIEEE/RSJ 国際会議) (IROS’11), pp. 3526-3532, 2011.

[4] I. Karamouzas, R. Geraerts および M. Overmars. “Indicative Routes for Path Planning and Crowd Simulation” (『パス計画と群衆シミュレーションのための表示的ルート』) . In The Fourth International Conference on the Foundations of Digital Games (デジタルゲーム研究の第4回国際会議) (FDG’09), pp. 113-120, 2009.

[5] W.G. van Toll, A.F. Cook IV および R. Geraerts. “Real-Time Density-Based Crowd Simulation.” (『リアルタイム密度ベース群衆シミュレーション』) Computer Animation and Virtual Worlds (コンピューター・アニメーションと仮想世界) (CAVW), 23 (1) :59-69, 2012.

[6] M. Moussaïd, D. Helbing, G. Theraulaz. “How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters.” (『単純なルールがいかに歩行者行動と群衆災害を決定するか』) Proceedings of the National Academy of Science (国立科学アカデミー論文集) (PNAS), 2011.

6.3 ミクロとメソレベルのシミュレーションの比較

前のセクションで説明した通り、メソスケールではミクروسケールよりも粗いレベルでエージェントの局所挙動が記述されます。メソスケールでは、より大まかになりますが、このスケールでのシミュレーション実行は、それでもなお局所の歩行者挙動の良い近似を維持します。メソスケールでは計算コストがはるかに低くなるの

で、メソスケールは多くの歩行者が同時に移動するような大規模インフラストラクチャの評価に適しています。しかし、状況によってはメソスケールでは現実的な予測が得られない場合もあります。最も大きな相違は、エージェント間で多くの交流がある場合（例えば、反対向きに流れる歩行者流動がある場合や、流動がボトルネックの最大容量付近である場合）などに現れると予想されます。処理能力や密度蓄積を測定することを目標としている場合、メソスケールレベルでのシミュレーションで通常十分となりますが、例えば平均移動時間を測定したい場合は、エージェント間の接触も考慮する必要があります。このセクションでは、このような複数の状況においてメソスケールとミクロスケールで得られる結果の違いを調べていきます。

Pedestrian Dynamics®は、密度が一定のしきい値を超えた後にミクロシミュレーションを選択的に有効にする機能があります。これは、全般設定ページ上のエージェント同士の衝突を回避する (Avoid agent collisions) のチェックボックスを使用して制御することができます。ここで説明したすべての実験では、ミクロシミュレーションが完全にオフにまたは完全にオン（しきい値 = 0）となっています。

対抗流動

同じ方向に流れることがない2つ以上の歩行者流動が重なる場合、直感的に、より多くのエージェント同士の接触が発生すると考えられます。これはもちろん流動にも依存します。まばらな流動では、密度の濃い流れほど多くの接触は発生しません。接触があればあるほど、2つのスケールにおけるシミュレーション結果間で見られる偏差が大きくなると予測されます。では、これらの違いを調べるため、すでに実行済みのいくつかの実験を説明していきます。最初の実験では、密度が増加していく一定方向の流動を伴う状況なので、ミクロとメソレベル間での移動時間の相違は、密度と共に増加していくと予測できます。2番目の実験では対抗流動、つまり同じ回廊内に反対方向に流れる2つの歩行者流動があるのがわかります。この実験では歩行者の数を一定に保ち、2つの流動間の比率を変化させます。

移動時間は、これらの実験において第一に考慮されるパフォーマンス指標です。ミクロ/メソ感度、つまり、一連のミクロスケールシミュレーションでの平均移動時間と一連のメソスケールシミュレーションでの平均移動時間との間の比率を調べていきます。

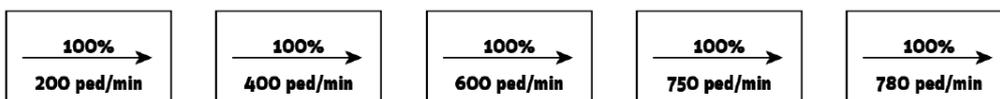


図 2：一定方向の流動を伴う実験1のパラメータ設定の概要各実験に対して、流入量を増やします。

最初の2つの実験では、10メートル幅で200メートルの長さの回廊を考慮します。歩行者の平均歩行速度は1.35 m/秒に設定されており、回廊内の有効歩行距離は192メートルなので、エージェント間の接触が全くなかった場合、予想される移動時間は約142秒になります。それぞれの実験において、ホールの端から端までの平均移動時間を測定します。回廊にまだ人が流れ込んでいる実行の最初の2分間は無視する

こととします。各実験は、メソスケールおよびミクロスケールで実行します。各シナリオに対して、平均移動時間を測定し、マイクロ/メソ感度を計算します。

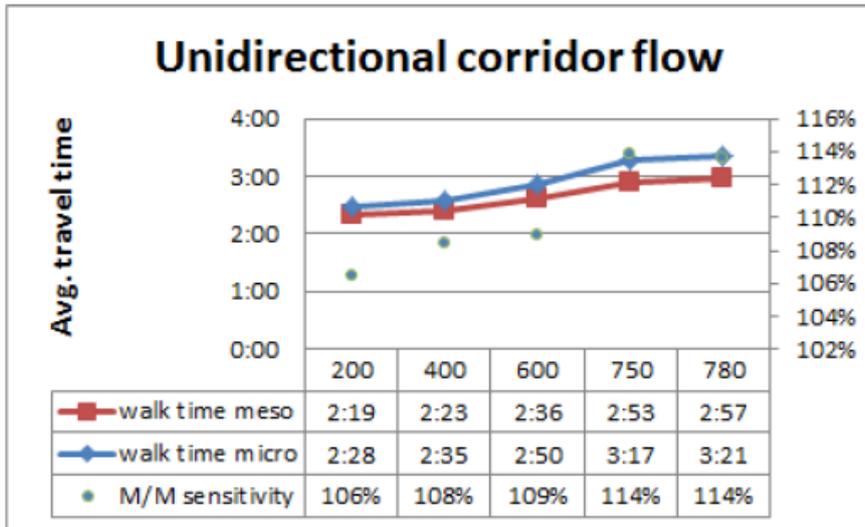


図 3： 実験 1 の結果： 一方向流動

最初の実験では、すべての歩行者が同じ方向に歩く状況を考慮します。文献からは 10m 幅の回廊において最大流動が 800 人/分程度になることがわかっています。モデルに導入する歩行者率を変化させながら実験を実行します（流動間の差異の概要は図2を、結果は図3を参照）。歩行者 200 人/分では、平均歩行時間がメソシミュレーションで 139 秒、ミクロシミュレーションでは 148 秒を測定し、6% の偏差が得られました。最高の 780 人/分では、偏差は 14% にまで増加します。

一方向の流動においてでさえ、これほど大きな偏差が生じるとは思わなかったかもしれません。その理由は、一定方向の流動であっても、歩行者は自分に合った様々な速度で歩くからです。これは、より密度の高い流動において、早歩きの歩行者がゆっくり歩いている歩行者を追い抜くため、エージェント間の接触が多く発生するということとなります。

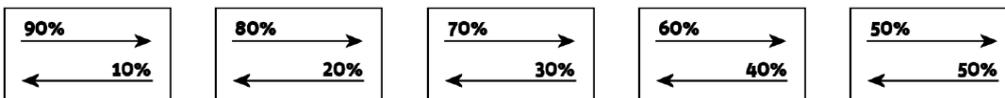


図 4： 双方向流動を伴う実験2のパラメータ設定の概要流動の合計を 400 人/分に固定し、異なる方向に流れる流動間の比率を変更します。

2番目の実験では、対抗流動を導入します。流動の合計を 400 人/分に固定し、反対方向に歩く歩行者の数を変化させます（図4参照）。西から東へ流れる流動は、常に東から西へと流れる流動よりも密度が高いことに注意してください。西から東へ移動する歩行者が 100% になると、これは前の実験へと戻ってしまいます。低いパーセンテージでは、対抗流動が発生します。ミクロシミュレーションを有効にした場合の

影響が、密度の濃い流れよりもまばらな流れの方で、より大きくなるを考えるかもしれませんが、これは正しいことが判明します。90%の高密度で対抗流動が10%の場合、メソとミクロ間の際は、高密度流動で15%、まばらな流動では、驚くべきことに42%となります。高密度流動が60%（40%対抗流動）にまで減少すると、パーセンテージはそれぞれ25%、31%となります。これは、対抗流動が多く接触を生み出すものの、2つの流動が今度は似たようなものとなっているので、理解できます。

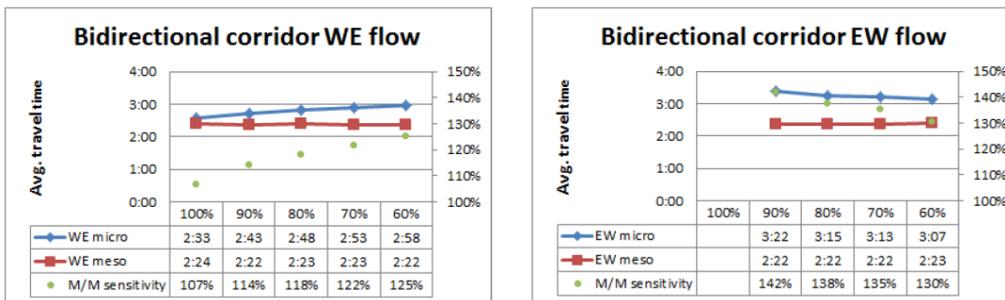


図 5： 実験 2 の結果： 双方向流動

2 次元断面での流動

二種類の交差するトラフィックを調べます。実験3では、垂直に交差する2つの一方向流動があります。西から東（WE）と北から南（NS）に移動するトラフィックの相対的な比率を変化させます（図6参照）。実験4では、角周りを流れる高密度の双方向流れ（50% 西南、50% 南西）があり、西東50%、東西50%のまばらな双方向流れがあります。ここでもまた、流れの比率を変化させます（図7参照）。

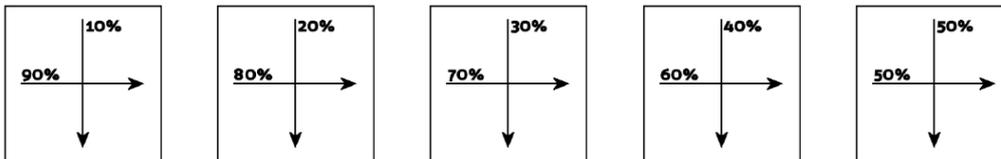


図 6： 2つの垂直に交わる一方向流動を伴う実験3のパラメータ設定の概要流動の合計を200人/分に固定し、西東と北南の流動間の比率を変化させます。

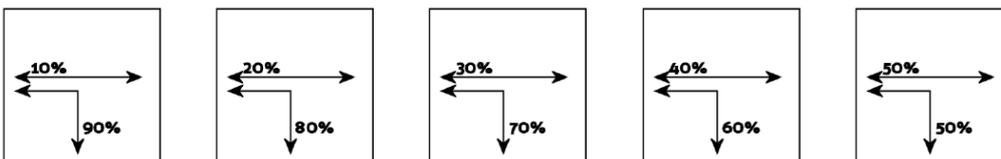


図7： 西南の双方向角周り流動と西東の双方向直線流動を伴う実験4のパラメータ設定の概要流動の合計を200人/分に固定し、2つの流動間の比率を変化させます。

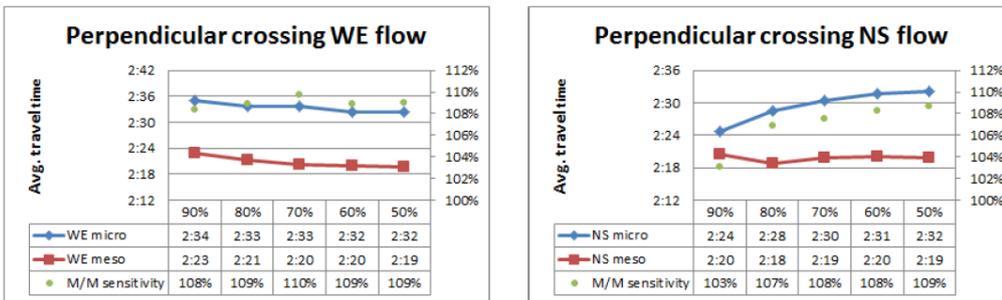


図8：実験3の結果、2つの垂直交差流動

実験4では、まばらな西東トラフィックのマイクロ/メソ感度が増加しているのが確認できます(図9を参照)。西東トラフィックと西南トラフィックの比率が10:90(西南トラフィックの密度が西東トラフィックよりもはるかに高い)の場合、ミクロスケールで測定した平均歩行時間は約11%高く、一方で2つの流れの密度が等しい50:50の場合は約16%の結果となりました。50:50の比率で偏差が増加したのは驚きではありません。なぜなら、その比率では東西トラフィックは回廊全体でこの比率の対抗流動があり、一方でそれがまばらだった場合、その流動が他方の流動と重なる対抗流動しか存在しないからです。西南トラフィックでは、最大感度が80:20の時に発生します。

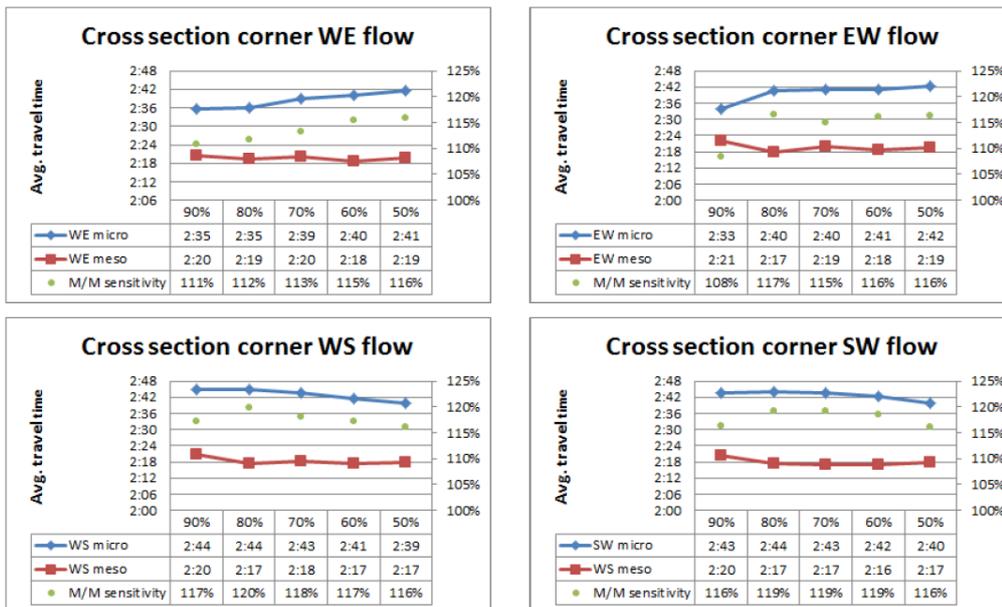


図9：実験4の結果、西南の双方向角周り流動と西東の双方向直線流動

ボトルネックの状況

ここでは、ボトルネックの状況を調べます。ボトルネックが最大容量付近になった時、ミクロスケールとメソスケールでのシミュレーション間の相違が特に大きくなることを確認していきます。実際には、ミクロスケールのシミュレーションのみで

しか容量を予測することができません。この実験では、歩行者が幅2メートル、長さ20メートル回廊を移動します。歩行者はオープンエリアからボトルネックに向かって歩きます（図10参照）平均流動を測定するため、回廊内に複数のフローカウンターを配置しています。このシミュレーションは10分間実行されますが、最初の2分は流れがまだ安定していないので、平均流動の測定においては無視されます（図11参照）。

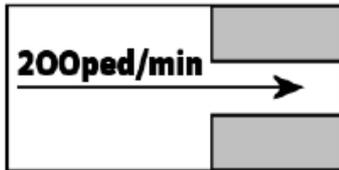


図 10

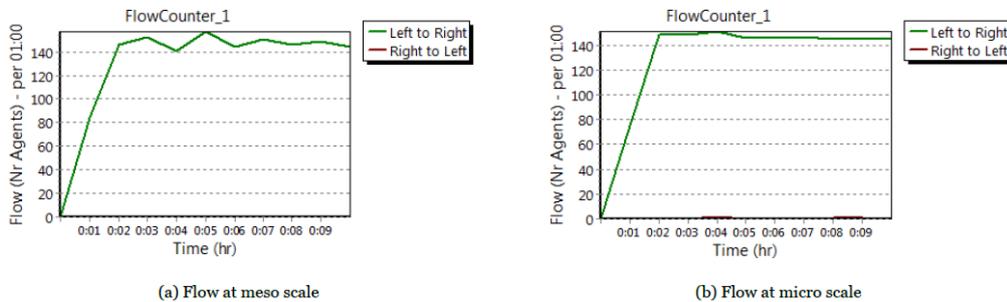


図 11： シミュレーションでは、安定した流動量に達するまで約2分かかります。

マイクロおよびメソスケール間の相違は、図12の密度マップではっきりと確認できません。図12bのマイクロレベルでのシミュレーションでは、歩行者が回廊の入口付近で立ち往生し、歩行者が横側から回廊に入ろうとするのを正確に予測できていますが、メソレベルの画像では、歩行者は基本的に入口に向かって歩き始めた位置から直線のパスをたどり、パスではなく歩行速度のみを修正しているのがわかります。この結果、メソシミュレーションでは、最も高い密度が回廊に入る前ではなく回廊内に発生します。

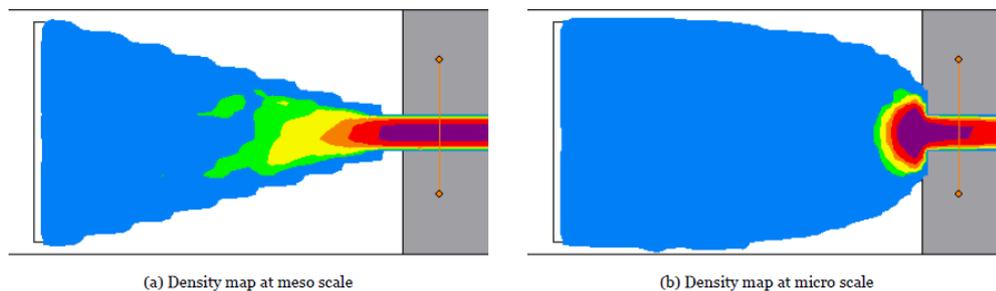


図 12： 150人/分の到着率におけるボトルネックの密度マップ。(a) ミクروسケール (b) メソスケール。

- (a) メソスケールの密度マップ
- (b) ミクروسケールの密度マップ

図13のように、さらに回廊内の流動量を比較しても興味深いでしょう。マイクロシミュレーションでは、回廊に入る前に立ち往生が発生し、歩行者は入口を通過しさえすれば適度なペースで歩くことができるので、回廊内全体の流動量は同じに保たれています。メソシミュレーションでは、高密度により歩行速度が落ちるので、それによってさらに高密度になっています。これは、図13aではっきりと確認できます。図13aでは、1番目のフローカウンターにおける流動が3番目の流動よりもはるかに高くなっています。これは、回廊内の歩行速度がとてつゆっくりになったので、多くの歩行者たちがまだ3番目の流動カウンターに到達できないでいることが原因です。

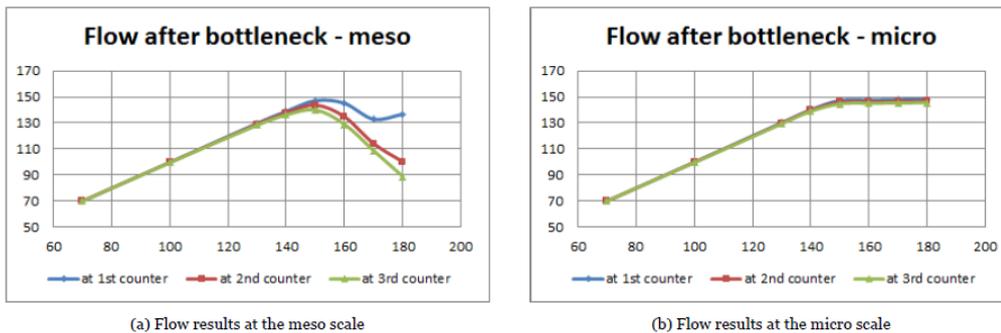


図 13： 回廊に沿った3つの位置における歩行者流動。(a) ミクロ スケール
(b) メソスケール。
(a) メソスケールでの流動結果
(b) (b) ミクロスケールでの流動結果

3番目のフローカウンターの結果を見ると、マイクロシミュレーション実行では、平均容量が約70人/分に到達するまで流動が歩行者の数と共に増加しているのが確認できます。メソスケールの実行では、約65人/分になるまで流動が増加しています。ボトルネックに入る前、およびボトルネックに入ってからすぐの混雑領域が原因で、その部分の流動は既に減少しており、より少ない数のエージェントしか3番目のフローカウンターを通過できないようになっています。

6.4最後に

本章では、Pedestrian Dynamics®でメソスケールとミクロスケールの2つのモデリングができることを学びました。全般設定の「エージェントの衝突を回避する」のチェックボックスを用いて、この2つを容易に切り替えることができます。メソスケールではミクロスケールよりも粗いレベルでエージェントのローカル動作が記述されます。メソスケールではより大まかになりますが、このスケールでのシミュレーション実行は、それでもなお局所の歩行者挙動の良い近似を維持します。メソスケールでは計算コストがはるかに低くなるので、メソスケールは多くの歩行者が同時に移動するような大規模インフラストラクチャの評価に適しています。

状況によってはメソスケールでは現実的な予測が得られない場合があります。最も大きな相違は、エージェント間の接触が多く発生する場合（例えば、反対向きに流れる歩行者流動がある場合や、流動がボトルネックの最大容量付近である場合）な

どに現れることを知りました。これらのケースでは、マイクロ/メソ感度、つまり、一連のマイクロスケールシミュレーションでの平均移動時間と一連のメソスケールシミュレーションでの平均移動時間との間の比率が最大で142%上昇する可能性があります。

モデリングする際は、常にモデルをシンプルなものに保ち、必要になった時に詳細を考慮するのが良いアプローチです。多くの場合、メソスケールで十分ですが、そうでない場合は詳細を追加し、「エージェントの衝突を回避する (Avoid agent collision)」のチェックボックスをオンにしてマイクロスケールに切り替えることもできます。これで十分かどうかは、常に調べるようにしましょう。その場合でも、Pedestrian Dynamics®は密度が一定のしきい値を超えた後にマイクロシミュレーションを選択的に有効にする機能も備えています。