

トランジットモール導入前後における歩行者の移動自由度の変化について 那覇市国際通りを事例として

Comparing Ease of Pedestrian Movement in an Avenue before and after Introducing a Transit Mall -A Case Study in Kokusai Street, Naha, Okinawa -

島袋 寛之*、吉川 徹**

Hiroyuki SHIMABUKURO* and Tohru YOSHIKAWA**

The purpose of this study is to compare the ease of pedestrian movement in an avenue before and after introducing a transit mall. To this end, the change of the expected time of crossing the avenue is calculated in Kokusai Street, Naha, Okinawa. First, the number of crossing pedestrians is observed. Second, the expected time of crossing in the current situation is obtained by formulating a mathematical model based on the observation. Third, the expected time of crossing after introducing transit mall is estimated. The credibility of the estimation is assessed by comparison of the estimated expected time in the current situation with observation. Last, by comparing the two values of the expected time, the change in ease of pedestrian movement by introducing a transit mall is analyzed.

Keywords: effect of transit mall, expected time of crossing, mathematical model, ease of pedestrian movement
トランジットモールの効果、横断にかかる時間の期待値、数理モデル、歩行自由度

1 はじめに

本研究は、トランジットモールの導入にともない歩行者が道路を横切る抵抗がどのように変化し、街路空間での移動がどの程度自由になるかを把握することを目的とする。

トランジットモール導入の効果のひとつとして渋滞時における歩行者の道路を横断する障害が低減することが期待される。しかし我が国では本格的導入例は前橋市などごく少数であり、既存研究にもトランジットモールが都市に与えるインパクト等マクロな視点からのものはある¹⁾が、歩行者の視点からミクロかつ定量的に論じたものは少ない。そこでトランジットモール社会実験が行われた²⁾沖縄県那覇市国際通りを事例として、トランジットモールが街路空間での歩行者の移動自由度を向上させる効果を定量化する。

1-1 国際通りとトランジットマイル社会実験

長さ1.6kmの国際通りは、周辺に県庁、市役所があり、沿道には銀行やホテル、デパート、雑貨や洋服店、飲食店、旅行社などのほか、通り全体の約4割をしめる土産品店が立ち並び、那覇市のメインストリートである。その慢性的な交通渋滞は以前から問題視されている。このため平成15年のゆいレール開業後、バス乗り入れ本数が1900本/日から1200本/日へと削減されたが、レンタカーの流入増加もあり、渋滞は根本的には解消されていない。そこで騒音や排気ガスによる沿線環境の悪化や、郊外型ショッピングモールの出現による来街者減少に対応するため、トランジットモール導入が検討され、社会実験が行われた。

平成14年のプレ社会実験、「那覇市国際通りトランジットマイル社会実験」では、通り内の騒音・大気環境の改善とともに、トランジットバスの安全性、周辺地区との連絡性、タウンモビリティの有効性が確認された。続く平成15年の実験では、モノレールが開業したことを受け、休

日のみならず平日もトランジットモール化し、恒常的な導入の可能性について検証することが目的とされた³⁾。

2 研究の流れ(図-1)

街路空間での歩行者の移動自由度は道路横断のしやすさによって表されると考えられる。本研究ではこの道路横断のしやすさを、歩行者の道路横断にかかる時間(横断時間と呼ぶ)の期待値で定量化し、移動自由度の指標とする。

横断時間の期待値を求める本研究の流れを図-1に示す。まず、歩行者の道路横断の様子をビデオで撮影し、横断者数を計測する。計測数をもとに、横断歩道以外の横断(不正横断)をも考慮しつつ、車両通行がどの程度、歩行者が道路を横断する抵抗となっているのかを考察し、現況の歩行者の横断をモデル化する。これにより現況での横断時間の期待値(Eとする)を算出する。その後、トランジットモール時の交通制限をトランジットモール社会実験をもとに仮定し、トランジットモール時の横断時間の期待値(E'とする)を算出する。ただし、このE'は理論上でのものであり、実際と対応していない恐れもある。そこで、このE'と計測した現況の対応を見ることで、E'の信頼性を確認する。最後に現況とトランジットモール時の横断時間の期待値、すなわちEとE'を比較することで、横断時間がどのように変化し、道路横断がしやすくなるかを考察する。

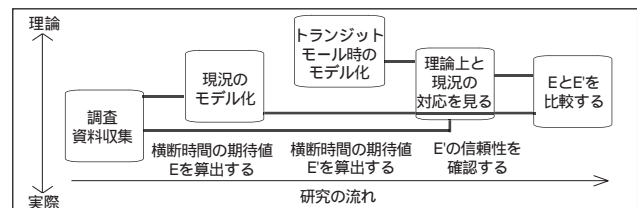


図-1 研究の流れ

* 正会員、東京都立大学 工学部建築学科元学生 (Tokyo Metropolitan University)

**正会員、首都大学東京 大学院都市環境科学研究科建築学専攻准教授 (Tokyo Metropolitan University)

3 調査

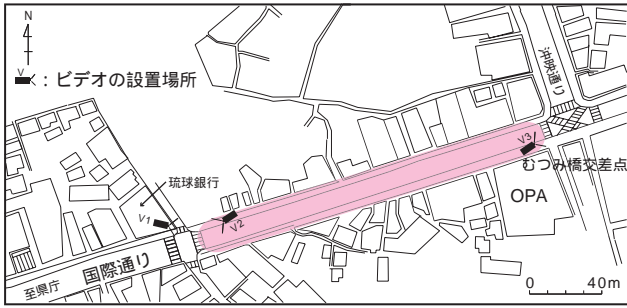


図-2 調査区域

3.1 調査の概要

- (1) 区域：図-2に示すむつみ橋交差点から琉球銀行前交差点前までの間とした。この区域は沖映通りや市場本通りとの接点を持ち、周辺には那覇OPA、買回品店、観光土産品店等が立ち並び⁴⁾。そのため県民、観光客ともに利用・通過する頻度が高い。また、横断歩道の間隔が約200[m]と離れていることもあり、この区域内で横断歩道以外を横断する歩行者(不正横断者)が多いと予想される。
- (2) 調査日時：平成16年11月13日(土)に10時15分～11時45分、13時30分～15時、16時30分～18時の計3回、平成16年11月14日(日)に10時15分～11時45分、13時～14時30分の計2回とした。両日とも快晴であった。
- (3) 調査内容：区域の両端の横断歩道で道路を渡る人数と区域内の不正横断者数を、撮影したビデオから計測した。
- (4) 資料収集：区域内の歩行者通行量を那覇市役所⁴⁾より、自動車交通量を沖縄県建設弘済会より提供していただいた。

3.2 調査結果

ビデオ1で不正横断の様子を、ビデオ2・3では、琉球銀行前交差点・むつみ橋交差点での横断歩道利用者を撮影、計測した(図-3、4)。むつみ橋交差点はスクランブル交差点であるため、この対象区域に用事があった、あるいはこれから用事があると思われる対象区域に道路を横断しながら入ってくる、出ていく人を横断歩道利用者数に含めた。琉球銀行前横断歩道は対象区域側の横断歩道利用者のみを計測した。結果(表-1)から次のことがわかる。

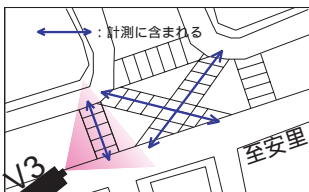


図-3 むつみ橋交差点



図-4 横断の様子

表-1 調査結果

調査日時	不正横断		横断歩道を利用しての道路横断				1時間あたり			
	発生回数	人数	むつみ橋	琉球銀行前	利用者数合計	調査時間	不正横断発生回数	不正横断者数	横断歩道利用者数	
土曜日	10時台	40(A)	61(A)	47(B)	108(A)	586(A)	2614[s]	55.1[回]	84.0(A)	807.0(A)
	11時台	44	77	601	125	726	2470	63.3	110.8	1058.1
	13時台	17	23	341	42	383	910	67.3	91.0	1515.2
	14時台	38	50	990	139	1129	3510	39.0	51.3	1157.9
	15時台	11	12	457	26	483	910	42.0	45.9	1671.9
	16時台	44	84	733	99	832	1820	87.0	166.2	1645.7
日曜日	17時台	54	78	1051	189	1240	2730	70.4	101.7	1560.8
	10時台	46	77	445	60	505	2730	60.7	101.5	665.9
	11時台	58	126	535	55	590	2370	88.1	191.4	860.6
	13時台	47	93	891	126	1017	3250	52.1	103.1	1174.2
	14時台	46	73	574	75	649	2080	79.6	126.3	1140.8

ここでは下記の記号を用いる(全て1時間当たり)。

t: 横断歩道利用者数、t': 不正横断者数、tt': 不正横断発生回数、p: 歩行者通行量、C: 車両長さ考慮の交通量。

なお車両長さ考慮の交通量(C)とは、車両車種をバイク類、自家用車類、バス類、小型貨物車類、大型貨物車類に分け、各々の平均的な車両長さ、1時間あたり2車線あたりの各々の交通量[台]の積の和である。詳細な定義は図-5に示す。

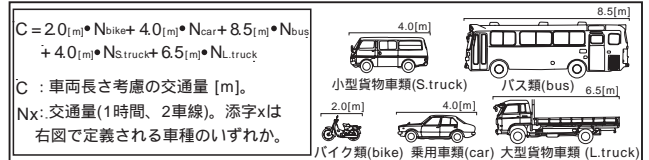


図-5 車両長さ考慮の交通量(C)の詳細な定義

- (1) 横断歩道利用者数(t)-通行量(p) (図-6)：1時間あたりのむつみ橋、琉球銀行前交差点の横断歩道で道路横断をする人数の合計(t)を縦軸に、その時間帯の通行量(c)を横軸にとった。両者には相関が見られた($R^2=0.7318$)。
- (2) 不正横断者数(t')-不正横断発生回数(tt') (図-7)：1時間あたりの不正横断者数(t')を縦軸に、不正横断発生回数(tt')を横軸にとった。両者には相関が見られた($R^2=0.7693$)。

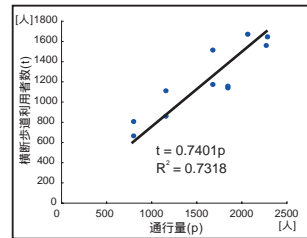


図-6 横断歩道利用者数(t) - 通行量(p)

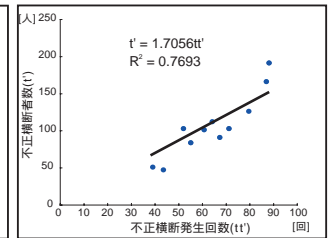


図-7 不正横断者数(t') - 不正横断発生回数(tt')

- (3) 不正横断発生回数、不正横断者数/通行量(tt', t'/p) - 車両長さ考慮の交通量(C) (図-8、9)：不正横断として北側歩道、南側歩道、南側歩道、北側歩道の合計を求め、1時間あたりの不正横断発生回数(tt') / 通行量(p)、不正横断者数 / 通行量(t'/p)を縦軸に、その時間帯の車両長さ考慮の交通量(2車線合計)(C)を横軸にとった。不正横断者数 / 通行量(t'/p)-交通量(C)の R^2 が0.408であり、不正横断発生回数 / 通行量(tt'/p)-交通量(C)の R^2 が0.5624である。このことから不正横断発生回数 / 通行量(tt'/p)-交通量(C)の相関がより強いことが確認される。

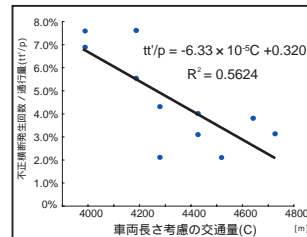


図-8 不正横断回数/通行量(tt'/p) - 交通量(C)

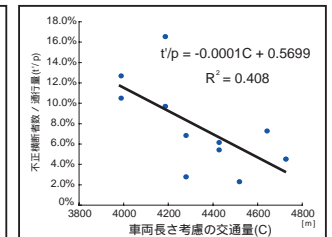


図-9 不正横断者数/通行量(t'/p) - 交通量(C)

4 現況のモデル化

上記の調査結果をもとにして、実際の交通量と歩行者の

横断時間の期待値の関係式を導きだす。図-10にモデルの概要と道路寸法等に関する記号を示す。道路北側の任意の地点Aから南側の任意の地点Bまで移動すると想定する。この時には横断歩道を利用するか、不正横断をするかの2つの経路を選択できる。この両経路の時間の期待値を算出する。

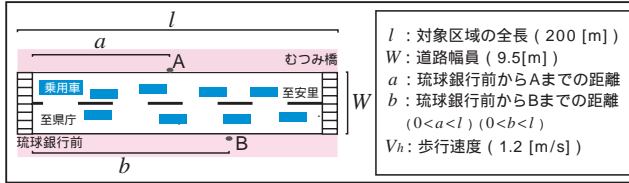


図-10 現況モデル

4.1 横断歩道を利用する場合にかかる時間の期待値

むつみ橋横断歩道、琉球銀行前横断歩道の歩行者信号の信号間隔は、測定した結果どちらも赤102[s]、青23[s]なので、歩行者が各々の交差点で待たされる時間の期待値は、

$$\frac{102}{130} \cdot \frac{102}{2} = 40.015 \text{ [s]}$$

歩行者は、歩行距離が短い方の横断歩道を選ぶとする。琉球銀行前横断歩道を利用するのは $0 < a+b < l$ の時であり、A地点からB地点までの移動時間の期待値を T_L とすれば、

$$T_L = \left\{ \int_0^l \int_0^{l-b} \frac{a+b+W}{V_h} + 40.015 \, da db \right\} \cdot \frac{1}{2l^2} \\ = \frac{1}{V_h} \left(\frac{2}{3} l + W \right) + 40.015 \text{ [s]} = 159.043 \text{ [s]}$$

一方、むつみ橋横断歩道を利用するのは $a+b > l$ の時であり、A地点からB地点までの移動時間の期待値を T_R とすれば、

$$T_R = \left\{ \int_0^l \int_{l-b}^l \frac{(l-a)+(l-b)+W}{V_h} + 40.015 \, da db \right\} \cdot \frac{1}{2l^2} \\ = \frac{1}{V_h} \left(\frac{2}{3} l + W \right) + 40.015 \text{ [s]} = 159.043 \text{ [s]}$$

歩行者が両横断歩道を利用する確率はともに1/2であるので、以上の T_L 、 T_R より、歩行者が横断歩道を利用する場合のA地点からB地点まで移動時間の期待値を E_U とすれば、

$$E_U = \frac{1}{2} T_L + \frac{1}{2} T_R = 159.043 \text{ [s]}$$

4.2 横断歩道を利用しない場合の移動時間の期待値

横断歩道を利用しない場合には、A地点とB地点の間どこかで道路に垂直に不正横断すると考えられる。すると道路に平行する移動の距離 $|a-b|$ の期待値は $l/3$ であり、道路に垂直な不正横断の移動距離は道路幅員 W になる。従ってA地点からB地点までの移動時間の期待値を T_N とすれば、

$$T_N = \frac{1}{V_h} \left(\frac{1}{3} l + W \right) \text{ [s]} = 63.472 \text{ [s]}$$

4.3 現況での移動時間の期待値

以上より、現況でのAB間の移動時間の期待値 E は、不正横断者数 (t) と横断歩道利用者数 (t') を用いて次式となる。

$$E = \frac{t}{t+t'} \cdot E_U + \frac{t'}{t+t'} \cdot T_N = \frac{1}{1+t'/t} \cdot E_U + \frac{t'}{1+t'/t} \cdot T_N$$

ここで、3.2節の図-6、7、8の回帰式から p 、 t'/t を消去して t'/t を求めると、次式が得られる。

$$\frac{t'}{t} = -1.459 \times 10^{-4} C + 0.737$$

これを用いれば期待値 E は次式となる。

$$E = \frac{1}{1+t'/t} \cdot E_U + \frac{t'}{1+t'/t} \cdot T_N = \frac{206.203 - 9.261 \times 10^{-3} C}{1.737 - 1.459 \times 10^{-4} C} \text{ [s]}$$

5 トランジットモール時のモデル化

この時には歩行者はバス通行時以外には横断歩道以外でも自由に横断できると考え、A地点とB地点間の移動時間の期待値を、バスの交通量との関係式として導き出す。世界各都市のトランジットモールにはバスやLRTで構成されているものがあるが、1時間1車線あたり輸送力はバスが3,000人、LRTで最大15,000人となる。本研究では現在の国際通りの状況からバスでの運行が妥当であると考えた。

モデルの概要と記号を図-11に示す。横断者は、県庁安里()車線、安里 県庁()車線の両方向のバスが、通りを渡りきれただけ十分に自分から離れた位置を走行していると判断した時に、道路横断をし始めるものとする。よってバスの進行方向には歩行者が横切れない範囲が存在する。この範囲の大きさは、道路北側(A)から横断しようとする時には図-11のゾーン、ゾーン になる。ここで、トランジットバス走行ゾーンの幅員を図-11の右側の道路断面図のように3500mm (3.5m) とすれば、ゾーン の長さ Z は、トランジットバス走行ゾーンの幅員を歩行者が渡り切るまでにバスが移動する距離、すなわち図-11に示す値になる。ゾーン は、両方向のトランジットバス走行ゾーンを渡り切る必要があるため、図-11に示すように2倍になる。

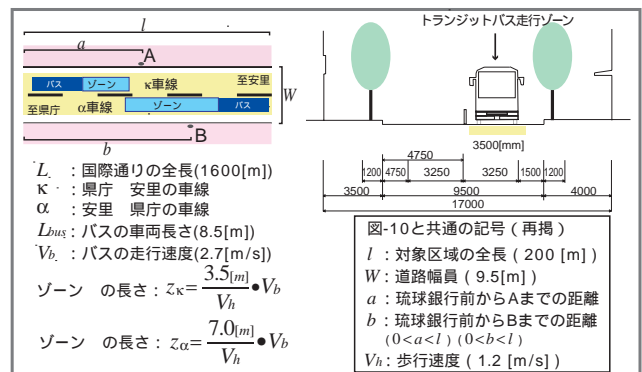


図-11 トランジットモール時モデル

バスは一定速度、等間隔でこの通りに流入して来るものとする。 α 、 κ 車線一時間あたりの乗り入れ本数を $n_{bus\alpha}$ 、 $n_{bus\kappa}$ とする。 α 車線を例とすれば、バスとバスの間隔は、

$$\frac{3600 \text{ [s]}}{n_{bus\alpha}} \cdot V_b \text{ [m]}$$

この通りにあるバスの台数の期待値 $n'_{bus\alpha}$ は、

$$\frac{L}{\frac{3600 \text{ [s]}}{n_{bus\alpha}} \cdot V_b} = n'_{bus\alpha} \text{ [台]}$$

よって対象区域内のバスの台数は

$$\frac{l}{L} \cdot n'_{bus\alpha} \text{ [台]}$$

横断者がバスから受ける影響は以下の4パターンである。

(1) バスに進路を妨害されずに横断できる場合：その事象が起きる確率をP₁とすれば、

$$P_1 = \left(\frac{l - \frac{l}{L} \cdot n_{bus\alpha} \cdot (L_{bus} + z_\alpha)}{l} \right) \cdot \left(\frac{l - \frac{l}{L} \cdot n_{bus\kappa} \cdot (L_{bus} + z_\kappa)}{l} \right)$$

$$= 1 - 1.516 \times 10^{-2} \cdot n'_{bus\alpha} - 1.023 \times 10^{-2} \cdot n'_{bus\kappa}$$

$$+ 1.551 \times 10^{-4} \cdot n'_{bus\alpha} \cdot n'_{bus\kappa}$$

その時横断にかかる時間をT₁とすれば、

$$T_1 = \frac{1}{V_h} \cdot \left(\frac{1}{3} l + W \right) [s] = T_N = 63.472 [s]$$

(2) 安里 県庁のバスに進路を妨害される場合：その事象が起きる確率をP₂とすれば、

$$P_2 = \left(1 - \frac{l - \frac{l}{L} \cdot n'_{bus\alpha} \cdot (L_{bus} + z_\alpha)}{l} \right) \cdot \left(\frac{l - \frac{l}{L} \cdot n'_{bus\kappa} \cdot (L_{bus} + z_\kappa)}{l} \right)$$

$$= 1.516 \times 10^{-2} \cdot n'_{bus\kappa} - 1.551 \times 10^{-4} \cdot n'_{bus\alpha} \cdot n'_{bus\kappa}$$

その時横断にかかる時間をT₂とすれば、

$$T_2 = \frac{1}{V_h} \cdot \left(\frac{1}{3} l + W \right) + \frac{1}{V_b} \cdot \frac{1}{2} \cdot (L_{bus} + z_\alpha) [s] = 67.963 [s]$$

(3) 県庁 安里のバスに進路を妨害される場合：その事象が起きる確率をP₃とすれば、

$$P_3 = \left(\frac{l - \frac{l}{L} \cdot n'_{bus\alpha} \cdot (L_{bus} + z_\alpha)}{l} \right) \cdot \left(1 - \frac{l - \frac{l}{L} \cdot n'_{bus\kappa} \cdot (L_{bus} + z_\kappa)}{l} \right)$$

$$= 1.023 \times 10^{-2} \cdot n'_{bus\alpha} - 1.551 \times 10^{-4} \cdot n'_{bus\alpha} \cdot n'_{bus\kappa}$$

その時横断にかかる時間をT₃とすれば、

$$T_3 = \frac{1}{V_h} \cdot \left(\frac{1}{3} l + W \right) + \frac{1}{V_b} \cdot \frac{1}{2} \cdot (L_{bus} + z_\kappa) [s] = 66.504 [s]$$

(4) どちらのバスにも進路を妨害される場合：その事象が起きる確率をP₄とすれば、

$$P_4 = \left(1 - \frac{l - \frac{l}{L} \cdot n'_{bus\alpha} \cdot (L_{bus} + z_\alpha)}{l} \right) \cdot \left(1 - \frac{l - \frac{l}{L} \cdot n'_{bus\kappa} \cdot (L_{bus} + z_\kappa)}{l} \right)$$

$$= 1.551 \times 10^{-4} \cdot n'_{bus\alpha} \cdot n'_{bus\kappa}$$

その時かかる時間をT₄とすれば、次の計算で求められる。

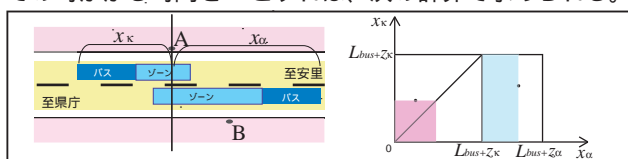


図-12 T4説明図

図-12左で x_α 、 x_κ を定義すると、バス通過までの時間の期待値は $\frac{1}{V_b} \cdot \max(x_\alpha, x_\kappa)$ の期待値となる。 $X = \max(x_\alpha, x_\kappa)$ とおき、 X の確率密度関数 $f(x)$ を求めよう。A地点から出発するので $z_\alpha > z_\kappa$ となり、 x_α 、 x_κ の範囲は図-12右の長方形になる。 x と $L_{bus} + z_\kappa$ の大小で場合分けし(図-12右)次式を得る。ただしPr(*)は事象*が生じる確率を表す。

$$x \leq L_{bus} + z_\kappa \text{ の時、 } Pr_{(X < x)} = \frac{x^2}{(L_{bus} + z_\alpha) \cdot (L_{bus} + z_\kappa)}$$

$$f(x) = \frac{dPr_{(X < x)}}{dx} = \frac{2x}{(L_{bus} + z_\alpha) \cdot (L_{bus} + z_\kappa)}$$

$$L_{bus} + z_\kappa \leq x \leq L_{bus} + z_\alpha \text{ の時、 } Pr_{(X < x)} = \frac{(L_{bus} + z_\kappa) \cdot \{x - (L_{bus} + z_\kappa)\}}{(L_{bus} + z_\alpha) \cdot (L_{bus} + z_\kappa)}$$

$$f(x) = \frac{dPr_{(X < x)}}{dx} = \frac{1}{(L_{bus} + z_\alpha)}$$

以上より、

$$T_4 = \frac{1}{V_h} \cdot \left(\frac{1}{3} l + W \right) + \frac{1}{V_b} \cdot E_{(\max(x_\alpha, x_\kappa))}$$

$$= \frac{1}{V_h} \cdot \left(\frac{1}{3} l + W \right) + \frac{1}{V_b} \cdot \left\{ \frac{1}{6} \cdot \frac{(L_{bus} + z_\kappa)^2}{(L_{bus} + z_\alpha)} + \frac{(L_{bus} + z_\alpha)}{2} \right\} [s]$$

$$= 68.645 [s]$$

(1)~(4)より、トランジットモール時の、A地点からB地点への移動にかかる時間の期待値E'は次式となる。

$$E' = P_1 \cdot T_1 + P_2 \cdot T_2 + P_3 \cdot T_3 + P_4 \cdot T_4$$

$$E' = 63.472 + 6.808 \times 10^{-2} \cdot n'_{bus\alpha} + 3.102 \times 10^{-2} \cdot n'_{bus\kappa}$$

$$- 3.645 \times 10^{-4} \cdot n'_{bus\alpha} \cdot n'_{bus\kappa}$$

$$n'_{bus} = \frac{L}{\frac{3600[s]}{n_{bus}} \cdot V_b} \text{ なので、}$$

$$E' = 63.472 + 1.121 \times 10^{-2} \cdot n_{bus\alpha} + 5.106 \times 10^{-2} \cdot n_{bus\kappa}$$

$$- 9.877 \times 10^{-6} \cdot n_{bus\alpha} \cdot n_{bus\kappa}$$

$$(0 \leq n_{bus\alpha} \leq 400, 0 \leq n_{bus\kappa} \leq 593)$$

B地点から移動する場合もあるので、トランジットモール時AB地点間の移動にかかる時間の期待値E'は次式となる。ただし両車線が同じ交通量であることを想定している。

$$E' = 63.472 + 8.158 \times 10^{-3} \cdot n_{bus\alpha} + 8.158 \times 10^{-3} \cdot n_{bus\kappa}$$

$$- 9.877 \times 10^{-6} \cdot n_{bus\alpha} \cdot n_{bus\kappa}$$

$$(0 \leq n_{bus\alpha} \leq 400, 0 \leq n_{bus\kappa} \leq 400)$$

6 理論と実際の対応

上記のトランジットモール時のモデル化で算出される理論上の値が、どの程度現況の横断のしやすさと対応しているのかを検討する。まず、現況の交通状態を代入できる数式を作るために数式を修正する。

6.1 モデル

図-13に使用する記号を示す。車両専用ゾーンの設けられたトランジットモール時、歩行者はバスとの接触を避けるために、車両までの距離と、自分が車線を横断しきる時間の両方を判断して道路を横切ると思われる。それに対して調査から、現況では歩行者は車道を横断しきる時間というよりも、車両自体を避けながら道を横切るといった感覚で横断していると思われた。よって歩行者が、車線までを渡りきるまでの距離を図-13の W_α 、 W_κ に設定する。

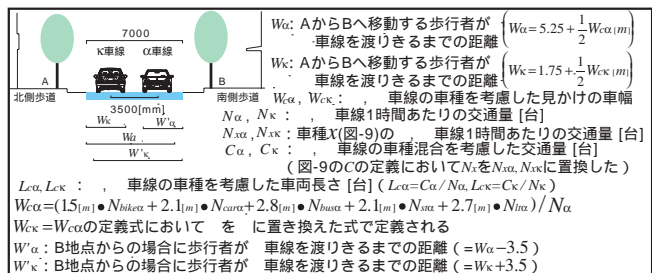


図-13 歩行者の横断距離

走行車両の位置の平均が図-13のようになるものとする、A地点側 B地点側の場合、歩行者は車線を横断するためには、同車線の車両と自分の距離と、自分が W_κ を歩き

る時間の両方を、車線を横断するためには、同車線の車両と自分の距離と、自分がWの距離を歩ききるまでの時間を判断した上で、横断し始めるものとする。

5章のP_n、T_nと同様にして、新たにここでA B地点の場合表-2 計算結果

$P_1 = \left(\frac{l - \frac{l}{L} \cdot \frac{L \cdot N\alpha}{3600 \cdot V} \cdot (Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)}{l} \right) \cdot \left(\frac{l - \frac{l}{L} \cdot \frac{L \cdot N\kappa}{3600 \cdot V} \cdot (Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)}{l} \right)$ $T_1 = T_N = 63.472[s]$
$P'_1 = \left(\frac{l - \frac{l}{L} \cdot \frac{L \cdot N\alpha}{3600 \cdot V} \cdot (Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)}{l} \right) \cdot \left(\frac{l - \frac{l}{L} \cdot \frac{L \cdot N\kappa}{3600 \cdot V} \cdot (Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)}{l} \right)$ $T'_1 = T_N = 63.472[s]$
$P_2 = \left(1 - \frac{l - \frac{l}{L} \cdot \frac{L \cdot N\alpha}{3600 \cdot V} \cdot (Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)}{l} \right) \cdot \left(1 - \frac{l - \frac{l}{L} \cdot \frac{L \cdot N\kappa}{3600 \cdot V} \cdot (Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)}{l} \right)$ $T_2 = 63.472 + \frac{1}{V} \cdot \frac{1}{2} \cdot (Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)[s]$
$P'_2 = \left(1 - \frac{l - \frac{l}{L} \cdot \frac{L \cdot N\alpha}{3600 \cdot V} \cdot (Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)}{l} \right) \cdot \left(1 - \frac{l - \frac{l}{L} \cdot \frac{L \cdot N\kappa}{3600 \cdot V} \cdot (Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)}{l} \right)$ $T'_2 = 63.472 + \frac{1}{V} \cdot \frac{1}{2} \cdot (Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)[s]$
$P_3 = \left(\frac{l - \frac{l}{L} \cdot \frac{L \cdot N\alpha}{3600 \cdot V} \cdot (Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)}{l} \right) \cdot \left(1 - \frac{l - \frac{l}{L} \cdot \frac{L \cdot N\kappa}{3600 \cdot V} \cdot (Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)}{l} \right)$ $T_3 = 63.472 + \frac{1}{V} \cdot \frac{1}{2} \cdot (Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)[s]$
$P'_3 = \left(\frac{l - \frac{l}{L} \cdot \frac{L \cdot N\alpha}{3600 \cdot V} \cdot (Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)}{l} \right) \cdot \left(1 - \frac{l - \frac{l}{L} \cdot \frac{L \cdot N\kappa}{3600 \cdot V} \cdot (Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)}{l} \right)$ $T'_3 = 63.472 + \frac{1}{V} \cdot \frac{1}{2} \cdot (Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)[s]$
$P_4 = \left(1 - \frac{l - \frac{l}{L} \cdot \frac{L \cdot N\alpha}{3600 \cdot V} \cdot (Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)}{l} \right) \cdot \left(1 - \frac{l - \frac{l}{L} \cdot \frac{L \cdot N\kappa}{3600 \cdot V} \cdot (Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)}{l} \right)$ $(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V) > (Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)$ $T_4 = 63.472 + \frac{1}{V} \cdot \left\{ \frac{1}{6} \cdot \frac{(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)^2}{(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)} + \frac{(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)}{2} \right\} [s]$ $(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V) < (Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)$ $T_4 = 63.472 + \frac{1}{V} \cdot \left\{ \frac{1}{6} \cdot \frac{(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)^2}{(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)} + \frac{(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)}{2} \right\} [s]$
$P'_4 = \left(1 - \frac{l - \frac{l}{L} \cdot \frac{L \cdot N\alpha}{3600 \cdot V} \cdot (Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)}{l} \right) \cdot \left(1 - \frac{l - \frac{l}{L} \cdot \frac{L \cdot N\kappa}{3600 \cdot V} \cdot (Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)}{l} \right)$ $(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V) > (Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)$ $T'_4 = 63.472 + \frac{1}{V} \cdot \left\{ \frac{1}{6} \cdot \frac{(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)^2}{(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)} + \frac{(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)}{2} \right\} [s]$ $(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V) < (Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)$ $T'_4 = 63.472 + \frac{1}{V} \cdot \left\{ \frac{1}{6} \cdot \frac{(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)^2}{(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)} + \frac{(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)}{2} \right\} [s]$

合の確率P_n、時間T_n、B A地点への場合の確率P'_n、時間T'_nを再計算すると、表-2が得られる。これより、A地点からB地点への移動時間の期待値をE''_{AB}とにおいて求める。

$$\alpha = \frac{N\alpha}{3600 \cdot V} \left(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V \right), \quad \kappa = \frac{N\kappa}{3600 \cdot V} \left(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V \right) \text{と} \text{お} \text{く} \text{と}、$$

(Lcα + $\frac{W\alpha}{V_h} \cdot V$) > (Lcκ + $\frac{W\kappa}{V_h} \cdot V$)の時、

$$E''_{AB} = 63.472 + \left\{ \frac{1}{2V} \left(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V \right) \right\} \cdot \alpha + \left\{ \frac{1}{2V} \left(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V \right) \right\} \cdot \kappa + \left\{ \frac{1}{V} \cdot \left(\frac{(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)^2}{6(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)} + \frac{(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)}{2} \right) - \frac{1}{2V} \left(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V \right) - \frac{1}{2V} \left(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V \right) \right\} \cdot \alpha \kappa [s]$$

(Lcα + $\frac{W\alpha}{V_h} \cdot V$) < (Lcκ + $\frac{W\kappa}{V_h} \cdot V$)の時、

$$E''_{AB} = 63.472 + \left\{ \frac{1}{2V} \left(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V \right) \right\} \cdot \alpha + \left\{ \frac{1}{2V} \left(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V \right) \right\} \cdot \kappa + \left\{ \frac{1}{V} \cdot \left(\frac{(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)^2}{6(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)} + \frac{(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)}{2} \right) - \frac{1}{2V} \left(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V \right) - \frac{1}{2V} \left(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V \right) \right\} \cdot \alpha \kappa [s]$$

α' = $\frac{N\alpha}{3600 \cdot V} \left(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V \right)$ 、κ' = $\frac{N\kappa}{3600 \cdot V} \left(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V \right)$ とおくと、B地点からA地点への移動にかかる時間の期待値をE''_{BA}として、

(Lcα + $\frac{W\alpha}{V_h} \cdot V$) > (Lcκ + $\frac{W\kappa}{V_h} \cdot V$)の時、

$$E''_{BA} = 63.472 + \left\{ \frac{1}{2V} \left(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V \right) \right\} \cdot \alpha' + \left\{ \frac{1}{2V} \left(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V \right) \right\} \cdot \kappa' + \left\{ \frac{1}{V} \cdot \left(\frac{(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)^2}{6(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)} + \frac{(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)}{2} \right) - \frac{1}{2V} \left(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V \right) - \frac{1}{2V} \left(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V \right) \right\} \cdot \alpha' \kappa' [s]$$

(Lcα + $\frac{W\alpha}{V_h} \cdot V$) < (Lcκ + $\frac{W\kappa}{V_h} \cdot V$)の時、

$$E''_{BA} = 63.472 + \left\{ \frac{1}{2V} \left(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V \right) \right\} \cdot \alpha' + \left\{ \frac{1}{2V} \left(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V \right) \right\} \cdot \kappa' + \left\{ \frac{1}{V} \cdot \left(\frac{(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V)^2}{6(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)} + \frac{(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V)}{2} \right) - \frac{1}{2V} \left(Lc\alpha + \frac{W\alpha}{V_h} \cdot V \right) - \frac{1}{2V} \left(Lc\kappa + \frac{W\kappa}{V_h} \cdot V \right) \right\} \cdot \alpha' \kappa' [s]$$

前述より現況の道路横断は横断歩道と不正横断の2パターンである。横断歩道利用者の中には、高齢者、小さな子供連れの親子など、横断歩道を利用しなければならない要因を抱えており、道路を横断する場合には常に横断歩道を利用していると考えられる人が含まれている。その一方で、不正横断者は不正横断にあまり抵抗がなく、横断できる状況下にある時には高い確率で不正横断を行っていると考えられる。よって、トランジットモール時と同じ横断を行っている不正横断者の発生回数(人数)の割合が、理論上の期待値と同じ状況下での道路横断のしやすさだといえる。そこでE''_{AB}、E''_{BA}と現況の不正横断の状況を比較する。

表-3 計算結果

調査日時	E'' _{AB}	不正横断発生回数(北南)		E'' _{BA}	不正横断発生回数(南北)		
		通行量(北)	通行量(南)		通行量(北)	通行量(南)	
Sat	10時台	64.813	7.821%	12.242%	64.821	5.927%	8.716%
	11時台	64.850	6.478%	11.336%	64.918	4.724%	8.268%
	13時台	64.921	3.353%	4.310%	65.014	4.643%	6.501%
	14時台	64.936	1.573%	1.783%	64.905	2.721%	3.904%
	15時台	65.011	2.233%	2.605%	64.970	1.972%	1.972%
	16時台	65.041	3.621%	7.415%	65.019	4.001%	7.133%
	17時台	65.065	2.406%	3.666%	65.056	3.885%	5.416%
Sun	10時台	64.813	8.466%	12.698%	64.821	6.677%	12.686%
	11時台	64.850	9.001%	17.159%	64.918	6.401%	16.002%
	13時台	64.921	4.023%	8.046%	65.014	2.210%	4.290%
	14時台	64.936	3.008%	4.070%	64.905	5.789%	9.981%

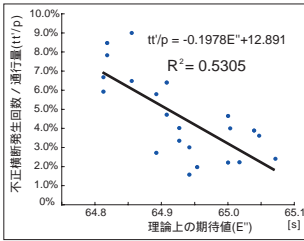


図-14 不正横断発生回数率 - 期待値

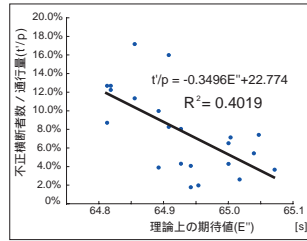


図-15 不正横断者数率 - 期待値

6.2 不正横断発生回数 / 通行量 - 理論上の期待値 (図-14)

横軸が理論上の道路横断のしやすさであり、値が低いほど横断にかかる時間が短くなるので渡りやすいといえる。縦軸は現況での道路横断のしやすさを表している。すなわち縦軸の値が高いほど、不正横断の発生する割合が多くなり、実際に不正横断できる状況が多く発生していたということを示している。この散布図の近似直線は図-14になり、 R^2 が0.5306となることから、この理論上の値と現況の値がある程度の相関を持っていることが分かる。

よって、以上より理論上の期待値 E' は、実際の道路の渡りやすさを、ある程度の信頼性で説明しうると言える。

6.3 不正横断者数 / 通行量 理論上の期待値 (図-15)

図14に比べて R^2 が低い。これは、不正横断しやすい状況が発生している時には、交通量が少なく車両からの圧迫感をあまり受けないので、複数人でのまとまった横断が多く発生するのに対して、不正横断しにくい状況下では複数人での横断が減少するためだと思われる。また、その時間帯の歩行者の構成にも強く影響を受けていると思われる。

7 考察

最後に、現況の E とトランジットモール時の E' を比較するため図化する(図-16)。現況の横断システム、交通状況では期待値が140秒以上となる。この数値は、現在の国際通りにおいて対岸の目的地までたどり着くためには、平均140秒以上かかることを示している。

那覇市国際通りトランジットマイル社会実験では、途中に行き違い場所を確保した1車線としたために、通りにはバスを4台までという規制が設けられた。よって、1車線1時間あたりのバスの乗り入れ本数は約12台となので、横断にかかる時間の期待値は、 E' 式より63.666秒となる(図-16)。また、現況の乗り入れバスだけを通りに入れると16時台に最大64.217秒、13時台に最小で64.109秒となる(図-16)。

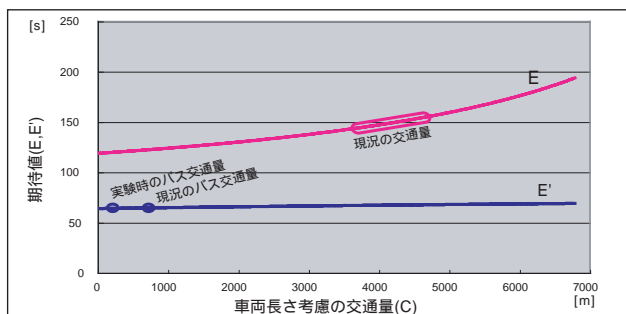


図-16 期待値 - 交通量

よってトランジットモールが導入されると、対岸の目的地まで平均63~64秒で行ける。これは、交通量の大幅減少と、トランジットモール化による歩行者の横断自由化の効果である。また現況(E)と比較しても、交通量の増加がそれほど期待値の上昇へとはつながっていない。このことから都心部において公共交通での集約的な人員輸送は、交通渋滞による視覚的意識的壁を取り除くといえる。

国際通りをトランジットモール化した場合の交通制限として、自家乗用車類とバイク類の乗り入れ禁止が考えられる。その場合のAB間の移動にかかる時間の期待値は表-4、5になる。この表で $G\alpha, G\kappa, G'\alpha, G'\kappa$ は、車線、A B('なし)、B A('あり)方向において、総車両長さに歩行者が横切れない範囲(図-11)を加えた長さの、対象区域全長に対する比を示し、1を超えると本研究のモデルでは横断不可能になる。またタクシー台数は実際に計測した時間別車線別の自家乗用車とタクシー比率を用いて算出した。時速10[km/h]制限のトランジットモールを想定すると、歩行者は1.2[m/s]のゆっくりした速度でも $G\alpha, G\kappa, G'\alpha, G'\kappa$ が0.3~0.5となり、ゆったり横断できる(図-17)。この場合の期待値は65秒台で、現況の半分以下になる。

表-4 A地点 B地点の移動にかかる時間の期待値

時間	バイク類	タクシー	バス類	小型貨物類	大型貨物類	V	Lc	Lc	Lc	Lc	Lc	$G\alpha$	$G\kappa$	E' AB				
10時台	0	0	181	166	45	48	17	15	14	2	2.7	4.925	4.957	20.675	12.832	0.546	0.305	65.974
11時台	0	0	186	201	42	40	14	11	7	4	2.7	4.829	4.743	20.579	12.618	0.528	0.324	65.933
12時台	0	0	195	163	42	49	15	8	2	2	2.7	4.765	5.017	20.515	12.892	0.535	0.294	65.910
13時台	0	0	171	207	44	36	14	13	1	2	2.7	4.873	4.648	20.623	12.523	0.487	0.332	65.804
14時台	0	0	183	180	43	40	16	15	2	5	2.7	4.812	4.804	20.562	12.679	0.517	0.312	65.872
15時台	0	0	178	164	44	48	13	26	2	3	2.7	4.855	4.926	20.605	12.801	0.503	0.318	65.845
16時台	0	0	133	124	49	45	22	21	3	7	2.7	5.101	5.115	20.851	12.990	0.444	0.264	65.599
17時台	0	0	171	187	45	45	18	19	3	5	2.7	4.885	4.839	20.635	12.714	0.504	0.335	65.871

表-5 B地点 A地点の移動にかかる時間の期待値

時間	バイク類	タクシー	バス類	小型貨物類	大型貨物類	V	Lc	Lc	Lc	Lc	$G\alpha$	$G\kappa$	E' BA					
10時台	0	0	181	166	45	48	17	15	14	2	2.7	4.925	4.957	12.800	20.707	0.338	0.492	65.847
11時台	0	0	186	201	42	40	14	11	7	4	2.7	4.829	4.743	12.704	20.493	0.326	0.539	65.958
12時台	0	0	195	163	42	49	15	8	2	2	2.7	4.765	5.017	12.640	20.767	0.330	0.474	65.774
13時台	0	0	171	207	44	36	14	13	1	2	2.7	4.873	4.648	12.748	20.398	0.301	0.541	65.922
14時台	0	0	183	180	43	40	16	15	2	5	2.7	4.812	4.804	12.687	20.554	0.319	0.506	65.848
15時台	0	0	178	164	44	48	13	26	2	3	2.7	4.855	4.926	12.730	20.676	0.311	0.513	65.871
16時台	0	0	133	124	49	45	22	21	3	7	2.7	5.101	5.115	12.976	20.865	0.277	0.424	65.550
17時台	0	0	171	187	45	45	18	19	3	5	2.7	4.885	4.839	12.760	20.589	0.312	0.543	65.961



図-17 15時台の車両分布イメージ

8 今後の課題

本研究では通行量・交通量として既存資料を用いた。ビデオ映像からの算出値を用いると理論と実際の値に強い相関が見られなかった。その原因究明が課題である。

参考文献

- 1) (財)国際交通安全学会トランジットモール研究会(1988)トランジットモールの計画 技報堂出版
- 2) 比嘉司・具志堅清一・友寄孝(2004)人に優しいまち・歩いて楽しいまちを目指して - 那覇市国際通りトランジットマイル社会実験の取り組み - 「しまたて」No.27
- 3) 国土交通省道路局：那覇市国際通りトランジットモール社会実験 <http://www.mlit.go.jp/road/demopro/result/h14/04naha.htm>
- 4) 那覇市(2004)那覇市中心商店街通行量調査報告書

謝辞

調査への協力を頂いた谷口幸平氏、柳澤一希氏、那覇市役所、沖縄県建設弘済会を始めとする皆様に感謝の意を表する。