

世界遺産カトマンズ渓谷パタン地区における 公設消防力の現状と課題 ～風土に根ざした水利活用の検討を通して～

Present condition and Subjects at Fire-Fighting in Patan World Heritage Kathmandu Valley
-through the study in application of local water resource -

長嶋治樹¹・大窪健之²

Haruki Nagashima and Takeyuki Okubo

¹立命館大学大学院 理工学研究科 創造理工学専攻 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

²立命館大学教授 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Dept. of Civil Engineering, Ritsumeikan University

This is research on disaster mitigation of cultural heritage. Nepal is located in boundary between Eurasian Plate and Indian Plate, and many specialists estimate the Great Earthquake in Nepal happens. On the other hand, the original inhabitants Newari built a lot of palaces, Buddhist temples, and private houses in Kathmandu Valley, which was inscribed on World Heritage Site in 1979. This research aims at arranging problems about present condition of fire-fighting in Patan World Heritage Kathmandu Valley through the research on application of local water resource.

Keywords: *disaster mitigation of cultural heritage, Patan, Hiti, fire-fighting*

1. 研究の背景と目的

ネパールは、インドプレートとユーラシアプレートが衝突するプレート境界域に位置しているため、活断層の分布密度は高く、日本同様に地震による被害が懸念されている国の一つである。1934年に発生したマグニチュードは8.4の Great Nepal Bihar Earthquake として知られている地震では、8,500名以上の人命が犠牲となり、80,000棟以上の建物が全壊した。また、首都である歴史都市カトマンズ周辺及びその西部周辺1000kmの地帯では、過去数百年間地震が起きていないことが専門家の間で注目されている。これは中部ヒマラヤギャップと呼ばれ、次のネパールの大地震はこのギャップで発生すると考えられている。¹⁾

カトマンズ渓谷における地震災害時の課題に関する既往研究では吉田ら²⁾が JICA(2002)や UNDP(1993)などの調査を参考に、カトマンズ地震の災害シナリオを考えており、今でも続く無計画・無方針なカトマンズ渓谷の人口膨張を問題視している。それを踏まえて、ネパール政府や市当局に対して、災害軽減のための市域プランニングの作成と効果的実行などの必要性を訴えている。また、Roshan³⁾らはカトマンズ市の脆弱性について都市診断手法を用いて分析している。その中で、地震脆弱性に関する空間設計及び管理事項を分析しており、避難空間にオープンスペースが利用できることに言及している。さらに、ネパールの地震防災団体である National Society for Earthquake Technology⁴⁾ (以下 NSET) はカトマンズ渓谷の地震に対する意識向上や対策を目的に 1934年と同程度の地震が発生した時に想定される社会的被害や物理的被害についてまとめている。

巨大地震発生時に甚大な被害を生む要素の1つに、二次的に発生する火災が挙げられる。震災時は断水や停電により消火栓などの公設の消防水利が使用不可となり十分な消防水利を確保できなくなることで延焼火災が多発する状況が想定される。しかしながらいずれの既往研究や報告書においても、地震に伴う二次災害としての火災や、平常時・震災時の公設消防力の機能や課題については論じられておらず、日常火災や地震火災がいざ発生した時に地域の消防力がどれだけ機能するのか物理的に示されていない。近年は世界遺産エリアである対象地域内の文化財や伝統的な水利の保存・再生に関する研究はなされているが、水利の防災活用という視点では研究されていないのが現状である。

そこで本研究では、世界遺産カトマンズ溪谷のパタン地区において、平常時・震災時に発生した火災に対する消防活動を想定し、対象地域における公設消防力の現状と課題を抽出すること、また対策として地域の風土に根ざした水利に着目し、防災活用の有効性を評価することを目的とする。

2. 研究対象地域

本研究の対象地域であるパタン地区は、ネパール連邦民主共和国バグマティ県ラリトプル郡ラリトプル市に位置している（図1～図3）。ラリトプル市は15.43km²の面積があり、22地区の行政単位にわかれている。

2001年のラリトプル市の調査によれば、同市の人口は16万2991人で、1991年の11万5865人から約5万人増加している。ネパールでは近年、カトマンズ王宮広場やパタン王宮広場等の都心部への人口流入が進み、ラリトプル市では2001年から2011年の10年間でさらに6万人程度の人口増加が予想されている。²⁾

本研究では、世界遺産地域の平常時における火災に加え、地震火災に対する公設消防力の課題を整理するにあたり、パタン地区は世界遺産コアゾーン内外にHitiと呼ばれる地域固有の水汲み場が点在しており、ラリトプル市内でもとりわけ人口密度が高い地域であることを理由に研究対象地域として選定した。また2009年に対象地域内の世界遺産の1つである寺院で火災による焼損被害が発生していることも考慮し、同地域を選定した。

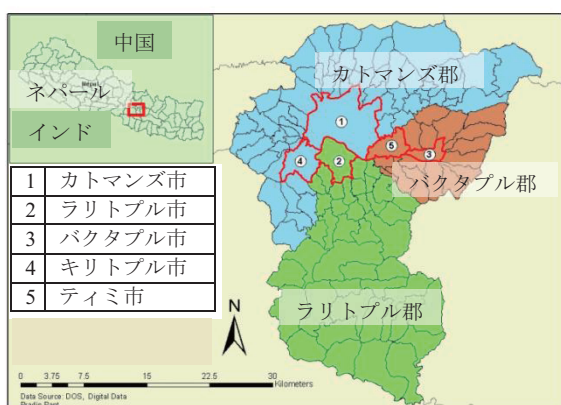


図1 カトマンズ溪谷

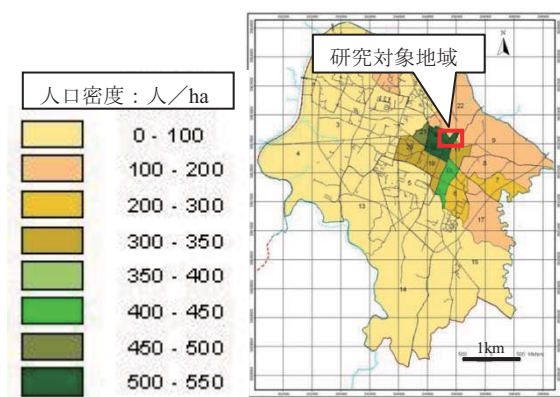


図2 ラリトプル市の人口密度（人/ha）

（出典：ラリトプル市役所資料）

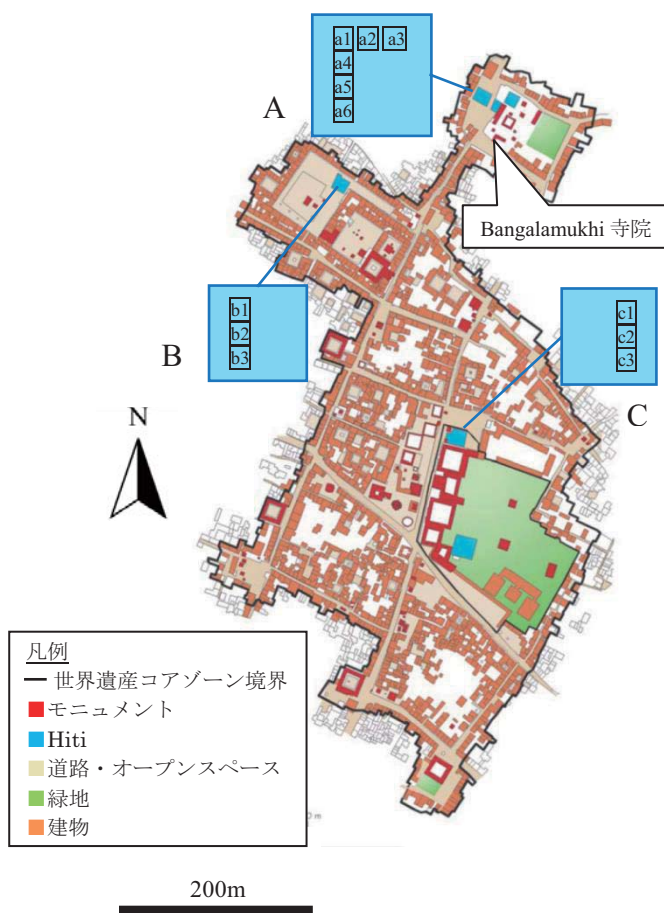


図3 研究対象地域

3. 火災被害と防火施策の現状

(1) パタン地区における文化遺産の焼損被害の事例

パタン地区では2009年に世界遺産地域内で寺院が焼損被害を受ける火災が発生している。被害を受けたのはラリトプル市第22地区の世界遺産コアゾーン内北部に位置するBangalamukhi寺院である（図3）。火災が発生したのは2009年3月15日の深夜で、ラリトプル消防署の記録では出火原因は不明であるが、翌日の新聞記事、警察への取材から深夜12時頃、16時間停電からの復旧後に電気回線がショートしたことが原因であると報道されている。この火災により寺院内の工芸品などが焼失し、被害額は日本円で500万円以上であった。⁶⁾



図4 Bangalamukhi寺院

(2) 火災被害の現状

ネパールにおける年間の火災による推定被害額は、洪水と地滑りによる合計額に次いで大きく、火災は日常から人々の生命および財産に大きな損害を与え得る災害である。⁷⁾

2009年7月から2010年8月にかけてラリトプル消防署が消火に当たった火災の出火原因を見ると、パタン地区周辺の火災被害で最も多い出火原因は電気回線・器具のショートである（図5）。ガス漏れによる火災の割合と合わせると半数近くになることから、建物・設備における欠陥や安全性の問題による出火が多いと考えられる。

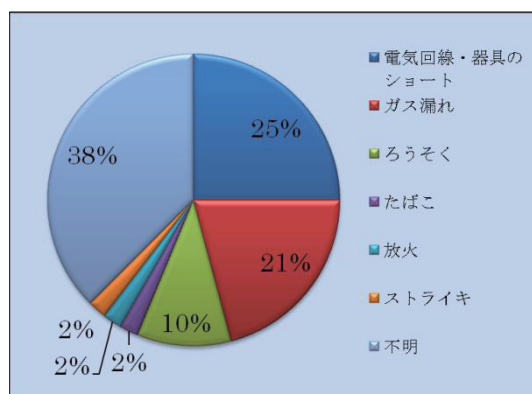


図5 出火原因別発生割合

(出典：ラリトプル消防署資料)

(3) 防火施策の現状

ラリトプル市では国家建築基準（NBC）を2003年から履行しているが、履行以前から市役所により建物認可手続きが行われている。2002年までに手続きした建物は15,123件であり、2001年時点での市内の世帯数は34,996世帯であるため、市内の半数近くの建物がNBCの基準に達していない可能性がある。⁸⁾

またNBCの中には建物の防火についての項目として、消火器や避難口の設置、消火活動を考慮した通路幅の規定等が記載されている。しかしながら

現状では“NBC 107：PROVISIONAL RECOMMENDATION ON FIRE SAFETY”すなわち“防火に関する暫定的な推奨”として、建物認可の手続きにあたって必ずしも順守の義務化には至っていない項目となっている。⁹⁾

対象地域の火災に対する安全性の向上のためには、基準の順守または改正などを視野に入れ、基準の策定責任者である国土計画・事業省（MPPW）の都市開発・建築局（DUDBC）と基準の執行に当たる市役所とのさらなる協力と調整が課題である。

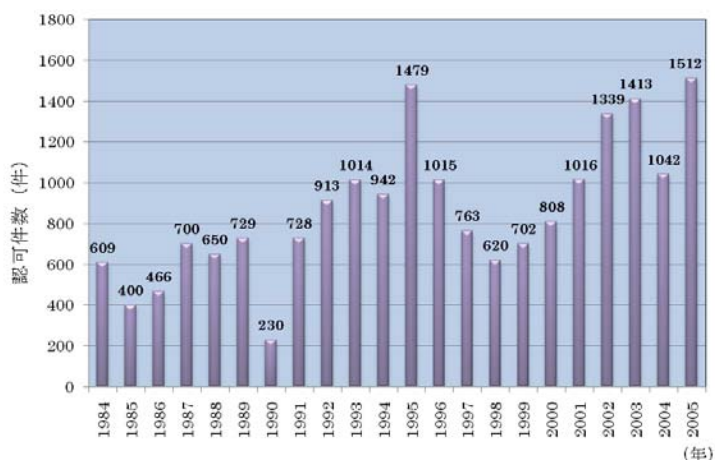


図6 市役所による認可建物数の推移

(出典：ラリトプル市役所資料)

4. 公設消防力の現状と課題

パタン地区の公設消防力・消防水利の整備状況を把握するためにラリトプル消防署の職員を対象に聞き取り調査（ヒアリング）を実施した。調査は2010年9月16日に実施した。主な質問項目は「職員の内訳、消防車と装備・能力について、消防水利として使用する水源について」である。ヒアリングから署内に現在使用している消防車の仕様書が保管されていないことがわかったので、ヒアリングと車体の実測から消防車の装備・能力についてまとめた。ヒアリングに対する回答と消防車の装備・能力についてのまとめをそれぞれ以下の表1、表2に示した。



図7 消防車（ラリトプル消防署内）

表1 ヒアリングに対する回答

- ・職員は11名（消防隊員4名、司令官1名、運転士3名、補助員3名）
- ・通常は7名で任務にあたることが多い。
- ・使用可能な消防車は1台のみ（1975年製）
- ・タンク容量2400ℓを10分で使い切る（1口放水時）。
- ・基本的に消防水利としての水源は消防車のタンク内の水のみである。
- ・消防車のタンクには消防署内から飲み水（水道水）を注水している。
- ・緊急時、乾季で水が無い時などは河川や池から取水する。
- ・火災現場で消火活動中にすべての水を使い切ったら、その時点で消防署に戻るか、池などに水を吸水しに行く。
- ・公設の消火栓は、80年程前のラナ王朝時代に設置されたもので、既に使用不可になっている。
- ・25年程前までは井戸の水も使用していた。

表2 消防車の装備・能力についてのまとめ

①車体モデル

製造: Magirus Deutz シャシー型式: L1 Pruf-Nr.~~~S-48
車体型式: 170 D 11 製造: 1975年 寄贈: 1975年
車体寸法: 2.25 m×6.25 m×2.85 m 車輪: 0.94 m
ホイール: 0.58 m ホイールベース: 3.20 m
エンジンモデル: LO2303 動力: 200 HP 重量: 60 t

②放水システム

ポンプ製造: Magirus タンク容量: 2,400 ℓ 送水口: 2口
放水能力: 4ℓ/sec 最長放水距離: 50m
放水ホース: 35 m×8組 (7" Ø)
ノズル先端: 1.8" Ø×1本 / 1.6" Ø×2本
揚水ホース: 1.83 m×6組 (8.5" Ø)

③車内・収納

定員: 9名 運転席: 2名
装備収納スペース: 7 (両側面: 3 / 後部: 1)

④車体上部

装備: はしご (小型: 0.3×3.6 m. / 大型: 0.3×6 m.)

⑤その他装備

リップパイプ: 60 m ヘルメット: 9組

次にヒアリングの結果から現状の消防体制に対する課題を示す。

対象地域を管轄とするラリトプル消防署には最大で11人の消防人員と1台の消防車を保有しているが、平常時から限られた消防力での消防活動を強いられており、地震火災発生時には対応能力の限界を超えてしまうことが想定される。対象地域内に点在する消火栓は現在機能しておらず、公設の消防水利は消防車のタンク内の2,400ℓの水源に限定されるため、延焼火災が発生しても消火活動はおおよそ10分間（消火ホース2口使用の場合は5分間）しか継続することができない。

5. 自然水利の防災活用における有効性と課題

ヒアリングから抽出された課題の中で、水利面の課題に対する対策として、地域の風土に根ざした自然水利の活用が考えられる。近年、大窪ら¹⁰⁾によって整備計画・技術の確立が進められている環境防災水利の考え方があるが、これは風土に備わる自然水利の活用を通じて、環境面でも優れた性能を持つ日本の伝統的木造文化を、地域市民の参加を含めて地震等の万一の災害による大規模火災から守り、平常時にも利用できる豊かな水のある美しく安全な地域環境を実現することを目的としている。

パタン地区には Hiti と呼ばれる伝統的水利が数多く存在し、古来より市民の生活用水として利用されてきた。モンスーン気候であるネパールには雨季と乾季があり、自然水利である Hiti の水量は季節により変動する。2005 年のラリトプル市の報告書によると、市内に Hiti は全部で 56 箇所あり、そのうち正常に機能し、十分な水量を供給しているのが 28 箇所、供給する水量が少なく、雨季の間だけ水量が増加するのが 12 箇所、水の供給が停止しているものが 4 箇所である。¹¹⁾こうした伝統的に備わる水利である Hiti を守り防災水利として活用していくことは、文化の継承に繋がるとともに、地域固有の自然水源を活用する環境防災水利の考え方からみても文化遺産地域として美しく安全な地域環境を実現するために有効である。また Ajaya Dixit ら¹²⁾は、地下の帯水層の改良によりカトマンズ盆地内の水源からの実質的な供給可能量を増加させる研究もなされており、自然水脈から水を供給している Hiti は災害時に防災水利としての可能性を秘めていると言える。

そこで、パタン地区内の Hiti の消防水利としての有効性を評価し、パタン地区における消防活動困難性を評価した。

(1) Hiti の消防水利としての有効性

図 3 に示したパタン地区の世界遺産コアゾーン内にある 3 箇所の Hiti が消防水利としての有効性を保持しているかを調べるために水量の実測調査を行った。調査は雨季にあたる 2010 年 9 月 14 日の午後 5 時から 1 時間程度で実施した。Hiti の水量は季節により一定ではないため、今回の調査では、雨季の水量が豊富な時期におけるサンプリング調査として有効性を評価する。また Hiti の水を揚水し消防水利として活用するにあたって、現時点では各流水口からの流水を 1 箇所に集めて必要な水深を確保するための設備は整備されていないため、各流水口の水量を直接計測し、合計水量を算出するという手順で各 Hiti を 1 つの水源として有効性を検討する。

a) 消防水利としての有効水量

ラリトプル消防署の消防車の放水能力が毎秒 40 であることから流出水量が毎秒 40 以上である Hiti は消防水利としての有効性があるとする。

b) 計測方法

図 3 の(A)、(B)、(C)の各 Hiti の各流水口から流れる水が 10 容器を満たすまでの時間を各流水口ごとに直接計測する。次に各流水口の 1 秒間当たりの流出水量を算出し、各 Hiti における 1 秒間当たりの合計流出水量を算出する。

c) 調査結果

実測調査の結果は表 3 に示す通りであり、Konti Hiti における合計流出水量が毎秒 4ℓ 以上であった。このことから、Konti Hiti は雨季においては消防水利として有効であると言える。

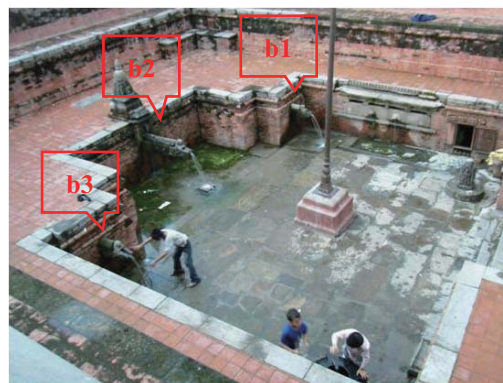


図 8 パタン地区内の Hiti (Nagbaha Hiti)

表 3 各 Hiti の水量調査の結果 (2010 年 9 月 14 日)

Hiti	流水口	時間(秒/ℓ)	水量(ℓ/秒)
Konti Hiti (A)	a1	2.10	0.48
	a2	1.35	0.74
	a3	1.50	0.67
	a4	11.90	0.08
	a5	1.35	0.74
	a6	0.70	1.42
合計			4.13
Nagbaha Hiti (B)	b1	0.95	1.05
	b2	1.00	1.00
	b3	2.95	0.34
合計			2.39
Mangah Hiti (C)	c1	1.00	1.00
	c2	0.85	1.18
	c3	1.10	0.91
合計			3.09

d) 追加調査

調査から約2週間後の2010年10月1日には、図8のNagbaha Hitiの3つの流水口のうちb1とb3の流水口は水が枯れている状態であった。自然の地下水源を利用するHitiは降水量の影響を大きく受けるため、Hitiを消防水利として利用するためには、乾季においても有効な水量を確保できるHitiの維持管理手法の検討が今後の課題として挙げられる。

(2) パタン地区の消防活動困難性の評価

消防活動困難性の評価は、消防車の到達可能範囲にある有効な消防水利から放水が可能かどうかを調べることによって、地区レベルの延焼を抑制する消防活動が困難になる危険性を評価するものである。東京消防庁では、平常時に有効な消防水利から半径140m、震災時では、震災時に有効な水利から半径280mの範囲で消防活動が可能であるとして、消防活動の条件を規定している。¹³⁾

今回の評価では、ラリトプル消防署の消防車、装備から基準を設定し、パタン地区の消防活動困難性を評価する。

a) 消防車の到達困難区域

消防車の車体データを基に、幅員2.25m以下、あるいは高さ2.85m以下の街路を消防車の進入不可能とした。また、エリア内に数ヶ所ある地図上にないモニュメント等、消防車の進路を阻む障害物のある街路についても進入不可能な街路とした。

到達困難区域・区間は図9に示す通りである。

b) 評価方法

消火栓が使用できないので、消防水利は消防車のタンク内の水源と有効性が示されたKonti Hitiの2つを考える。消防車が装備している消火ホースの1本当たりの長さは35mなので、ホースを8本全て連結させた状態である280mが最大ホース長である。ここで街路が繰り返し折れ曲がっていた場合の最小限距離は、およそ $1/\sqrt{2}$ である200mである。したがって今回はホースの延長距離が最大200m以内の範囲までは水源から水が届くものと考えて、200m以遠の範囲は消防活動困難区域と評価する。また今回は災害が発生した時の状況を想定し、以下のような3つのケースにおけるパタン地区の消防活動困難性を評価する。

- ・ケース1：平常時の火災
- ・ケース2：平常時の延焼火災
- ・ケース3：震災時の地震火災

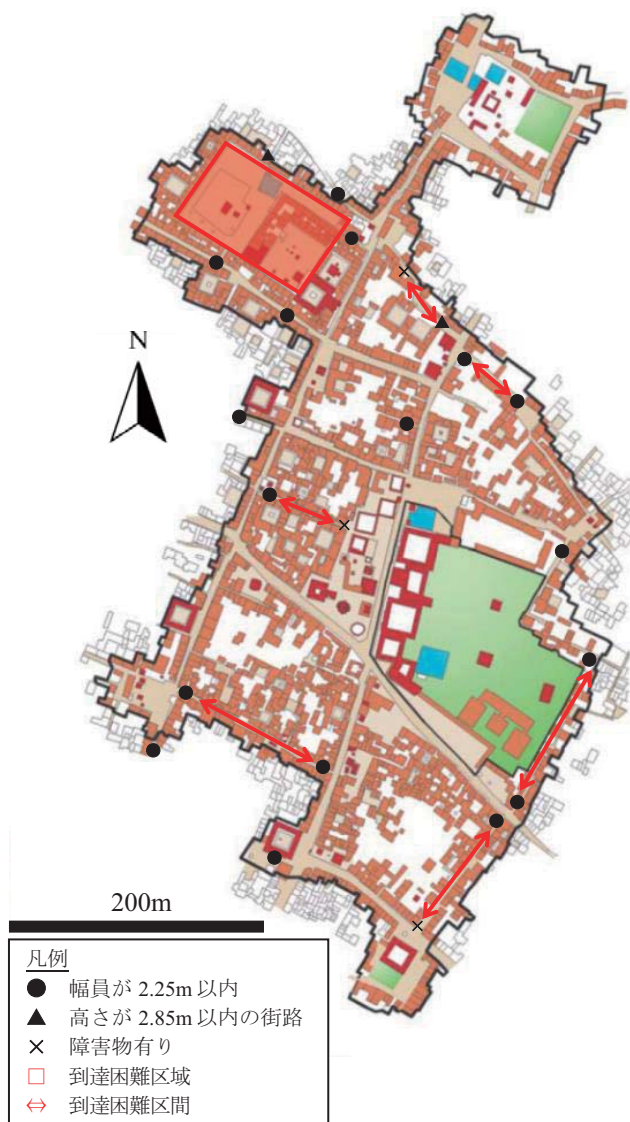


図9 パタン地区における到達困難区域・区間

ケース1：平常時の火災

パタン地区内には消防車が到達できない区間・区域が複数あり、この範囲で火災が発生した状況を想定する。この場合、出火点に消防車は到達できないが、消火ホースを延長することで消火活動を行うことができる。図10の青円は半径200m区域を表しており、到達不可能各区間・区域の端点に消防車が部署した場合、ホースの延長により同区間・区域をカバーできることを示している。したがって、この場合には地区内に全域において消火活動が可能と評価することができる。ただし、消防車のタンク内の水源は2,400ℓに限られて

おり、毎秒4ℓの放水量で消火活動を継続できる時間は、1口での放水の場合は10分、2口での場合は5分程度に制限されることが課題として挙げられる。

ケース 2：平常時の延焼火災

次にケース 1 の平常時の火災に対して、消防車のタンク内の水源で消火活動を行ったが、課題として挙げた制限時間内に鎮火させることができず、延焼火災に発展した時の状況を想定する。

この時、消防車のタンク内の消防用水はすでに使い切っているため、**Konti Hiti** を消防水利として活用する。図 11 の青円は半径 200m 区域を表しており、延焼火災の発生場所が消防車の到達不可能な各区分・区域の内外に関わらず、ホースを延長することで消火活動を行うことが可能な範囲である。したがってこのケースでは、パタン地区において北部の青円内にカバーされている範囲を除いた地域が消防活動困難区域であると評価できる。一方で、図 11 中の緑円は、対象地域内の **Konti Hiti** 以外の **Hiti** が消防水利として利用できた場合に放水による消防活動が可能になる範囲を表しており、パタン地区内のすべての **Hiti** が消防水利として有効であれば、地区内ほぼ全域で延焼火災に対しても消火活動が可能になることがわかる。また、この場合は消火活動を継続して行うことができるが、現状での **Konti Hiti** の流水量では、使用するホースは 1 本に限定されることが課題として挙げられる。

ケース 3：震災時の地震火災

対象地域において地震が発生し、二次災害としてパタン地区内で火災が発生した状況を想定する。パタン地区は高密度で住居が密集しているため、この場合では建物倒壊により、ほとんどの街路が瓦礫で閉塞し通行不可能となることが考えられ、平常時よりさらに消防車が到達できない区分・区域が拡大することが想定される。図 12 で示すように、世界遺産コアゾーンに接続する街路が閉塞した場合、地区内に消防車が進入できなくなり、出火点や水源である **Hiti** への到達は不可能になる。

このケースでは、地区内全域で消防活動困難区域になると評価でき、たとえ 1 つの出火場所に辿り着けたとしても消防車 1 台だけで対応するのは非常に困難である。

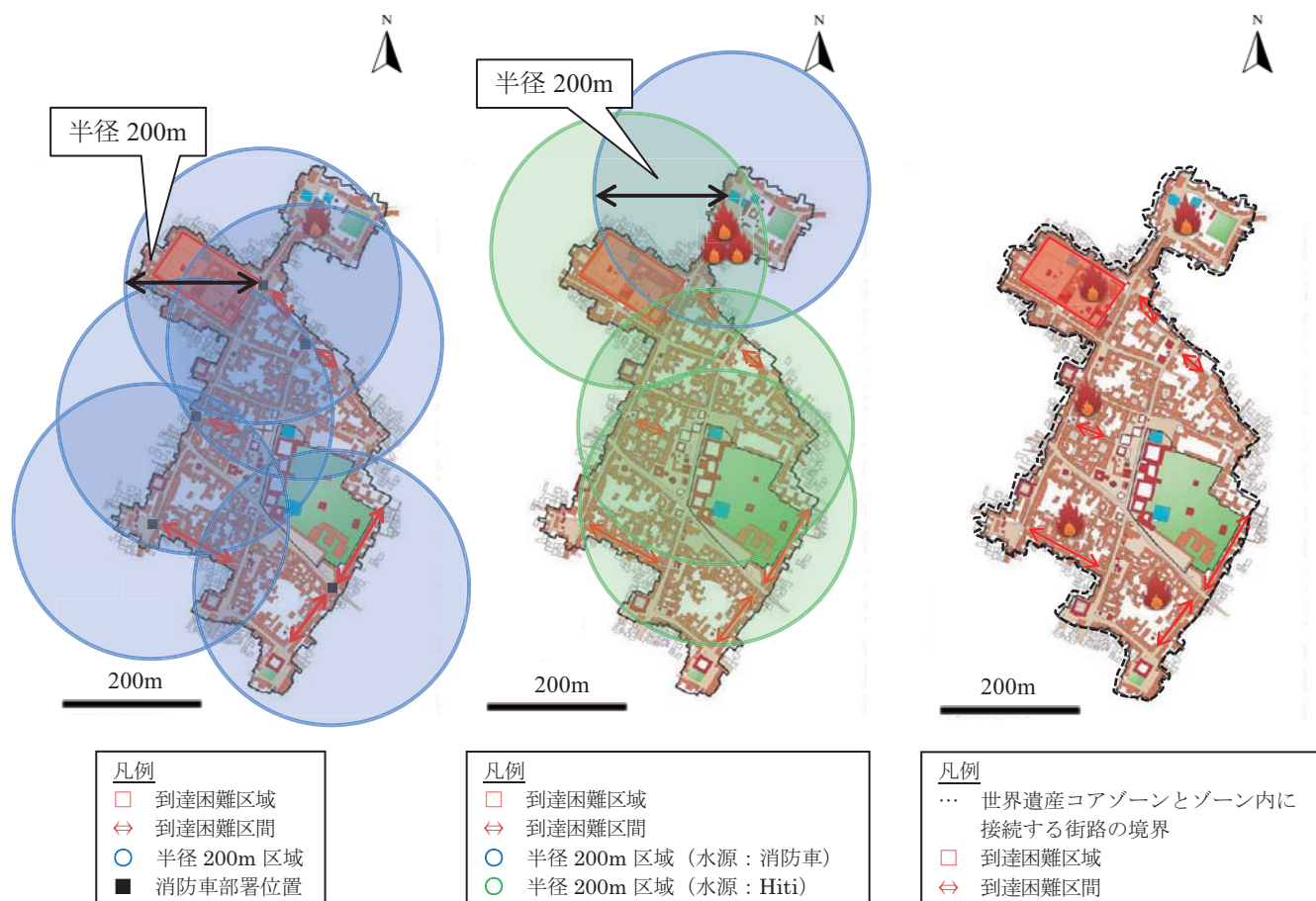


図 10 ケース 1：平常時の火災

図 11 ケース 2：平常時の延焼火災

図 12 ケース 3：震災時の地震火災

6. 結論

(1) 研究の成果

本研究で得られた成果は次の通りである。

消防車の到達困難区域や有効消防水利の観点から、対象地域で延焼火災が発生した場合、現状ではエリア内の大半の地域が消防活動困難区域になるという結果が示された。また現時点でパタン地区内のHitiではKonti Hitiが消防水利としての有効性があることがわかり、すべてのHitiが消防水利として利用することができれば、エリア内のほぼ全域で延焼火災に対しても継続的な消火活動を行うことができるという結果が得られた。

(2) 今後の課題と展望

Hitiの防災水利としての活用に向けては、今後 Konti Hiti や、それ以外の Hiti でも消防水利として有効な水量まで増加・維持させることが課題であり、実際に消防車に揚水可能なだけの水量、水深を確保する貯水方法を検討していく必要がある。また、震災時の消防活動を考慮して、地区内における主要な街路については最低限閉塞しないために補強していくことが必要である。加えて、可搬ポンプなどの防災設備の設置し、地域住民の手で初期消火活動を可能にする防災体制を確立することが重要である。

謝辞：本研究を進めるにあたり、ネパール・ラリトプル市役所並びに消防署の職員の皆様方には、終始多くの時間を割いていただき、調査への協力を賜りましたことを心より感謝申し上げます。また、グローバル COE に関連して大航海プログラムにより研究派遣の機会をお与えくださり、現地ではトリブバン大学 IOE の先生方のご協力を頂きましたことを重ねて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Upreti BN Earthquake and earthquake hazard in Nepal News Bulletin of Nepal Geological Society 2001
- 2) 吉田勝・B.N.Upreti 「中部ヒマラヤ巨大地震とカトマンズの危機」地球科学と科学運動 53 号 Dec-2006 pp41~51
- 3) Roshan B.Bhandari・Norio Okada Urban Diagnosis as a Method to Assess Vulnerability of Communities in the Context of Spatial Planning and Management ; Kathmandu Valley 京都大学防災研究所年報 第 51 号 平成 20 年 6 月
- 4) Shreeram Singh Basnet・Amod Mani Dixit・Laura Dwelley-Samant・Mahesh Nakarmi・Shiva Bhahadur・Pradhanang・Brian Tucker 「Kathmandu Valley's Earthquake Scenario」 National Society for Earthquake Technology-Nepal(NSET) Jan 2004 pp.3~ 24
- 5) Kathmandu valley Development Plan-2020
- 6) nepalnews.com 2009/3/16
- 7) Ministry of Home Affairs Disaster Management Section “Loss of Lives and Properties By Type of Disasters”
- 8) “City Profile, Lalitpur Sub-Metropolitan City”2005 pp70-71
- 9) National Building Code “NBC 107 : PROVISIONAL RECOMMENDATION ON FIRE SAFETY”
- 10) 大窪健之他 「地震火災から木造文化を守る『環境防災水利』の整備計画に関する研究」総合論文誌 Vol 2 Architectural Institute of Japan Feb-2004 p88
- 11) “City Profile, Lalitpur Sub-Metropolitan City”2005 pp22
- 12) Ajaya Dixit and Madhukar Upadhyaya “INITIATIVES FOR AUGMENTING GROUNDWATER RESOURCES BY ARTIFICIAL RECHARGE, Augmenting Groundwater in Kathmandu Valley: Challenges and possibilities” 2005
- 13) 東京消防庁ー消防活動の条件