131. 気候変動適応に向けたインフラ計画の展開プロセスと実行支援に関する研究

- デンマーク王国コペンハーゲン市のクラウドバーストプランを事例として -

A Study of the Infrastructure Development Process and Support System for Climate Change Adaptation

- In Case of the Cloudburst Plan in Municipality of Copenhagen, DE -

中島 直弥*・星野裕司**
Naoya Nakajima*, Yuji Hoshino**

Cities globally face significant risks from climate change, and the necessity of climate change adaptation strategy is highly recognized as a global scale. Capital city of Denmark Copenhagen is highly evaluated city to tackle with this issue. This paper presents deployment process of Copenhagen cloudburst plan and surrounding support systems. By using municipal reporting and interview with the member of Municipality Copenhagen and Danish construction consultancy, we showed importance of the supporting system that to amend the water payment law with economic rationality and created a situation necessary for implementing climate change adaptation measures to increase the effectiveness of the cloudburst plan. Moreover, continuous downpours contributed to being able to be set up as a plan with reality for politicians, governments, and citizens. Although, 300 projects against heavy downpours planned and implemented gradually with integrated into existing projects with supporting systems.

Keywords: Climate Change Adaptation, Blue-Green Infrastructure, Europe

気候変動適応策, ブルー・グリーンインフラストラクチャー, 欧州

1. 研究の枠組み

(1) 研究の背景

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は、第5次レポート(2014)において、地球温暖化について述べており“人為による温室効果ガス増加が降水量や海水の酸性化、洪水リスクの増加を引き起こしている。排出が継続的に続けば地球の気温をさらに上昇させて、生態系に不可逆の衝撃を与える可能性がある。”と報告している。つまり、気候変動に伴う気温上昇が洪水リスクを増大させ、将来的に生活空間や生態系へ大きな影響を与える可能性が示された。

欧米では、従来取り組んできた温室効果ガスを減らす緩和策のみならず、自然や人間社会のあり方を調整する適応策の重要度が増している。洪水リスクを減少するインフラ戦略として欧州連合(EU)の欧州委員会がGreen Infrastructure(GI)-Enhancing Europe's Natural Capital(2013)を採択し、加盟国内でグリーンインフラ(Green Infrastructure、以下GI)の推進を打ち出した。また、アメリカでも連邦環境保護庁(Environmental Protection Agency, EPA)が主体となってGIを推進しており、欧米の先進国では適応策による社会資本整備によって、都市の洪水リスクを戦略的に減少させることを目指している。

日本では気候変動に伴う洪水リスクの軽減を目指し2014年から内閣府を中心とした水循環基本法に関連する水管理に関わる政策がたてられてきた。2015年に示された水循環基本計画で同府は、流域に関わる水循環について関係機関が連携し、流域として総合的に管理する流域マネジメントを示し、2016年の水循環施策では、水循環の現状と課題や、水循環基本計画に盛り込まれた施策の取組状況を示した。2017年1月には、水循環基本計画に基づく流域水循環計画の第一弾として地方公共団体の17計画

が認定・公表されており、近年の我が国では内閣府を中心に洪水リスク軽減を目指した水管理に関して、先進的な地方公共団体を活動主体に、都市スケールでの取り組みがみられはじめている。

(2) 既往研究と目的

近年の気候変動に伴う洪水リスク軽減と生活の質の向上を統合的に目指した都市計画手法にGIがある。GIに関する研究として、遠藤(2011)の米国フィラデルフィアを対象とした研究がある。日本への知見として、総合的に扱う視点を持ちながら、浸透と再利用による雨水抑制を行うことや街路など公共空間の緑に関して、広く街路網全体にGIとして緑整備を推進する方策を展開することを提案している。しかしながら、推進のための実効性に関する議論までは及んでいない。さらに、福岡(2015)は米国ポートランドを対象に、GI適応策を含む10プロジェクトを通してGIの特徴を明らかにした。日本においては多部署連携による建築外の敷地や都市スケールでの適応事例が少ないことを指摘した。また、木下(2015)は英国リバプールのGI政策について、GIを実現するための計画制度の体系と具体的な施策内容について明らかにした。GIを実現する施策として、GIの開発行為への統合と、地区ごとに必要とされる機能を科学的根拠に基づいて細やかに特定するエビデンスベースを明らかにした。課題として、GIの実効性を確保する経済的手法の欠如をあげている。ラトガー(2010)はオランダのロッテルダムを対象に、洪水リスクを軽減するための水マネジメントに関して、近年の水マネジメント戦略が他の都市再開発事業に統合されて、都市のアメニティを向上させることで推進されていることを明らかにした。武田(2016)は同国の流域ベースで整備されるルーム・フォー・ザ・リバーの特徴を整理し、単なる治水整備ではない目的の複合性によって

* 正会員 (株)日建設シビル (Nikken Sekkei Civil Engineering Ltd)

** 正会員 熊本大学 くまもと水循環・減災研究教育センター (Kumamoto University Center for Water Cycles)

空間の質を確保することが長期的なプロセスに対応したことを指摘している。またサラ(2014)らはスウェーデンの都市マルメと、コペンハーゲンを対象に洪水リスクマネジメントの比較研究をし、洪水リスク軽減と都市のアメニティを向上させる計画であるコペンハーゲンのクラウドバーストプランの、都市全体に広がる全体性に特徴があることを明らかにした。一方で、コペンハーゲンは、実行されたプロジェクトが欠如しており、計画の実効性を確保するための合意形成と環境責任の構築を図ることが将来の課題として指摘された。

以上のことから、近年は先進的な GI に関わる洪水リスク軽減を目的とした計画の研究は見られるものの、都市スケールでの気候変動適応計画に関する、計画のプロセスと実効性に関して言及している研究は十分ではない。そこで本研究は、コペンハーゲンで進行している洪水リスク減少を軸とした、都市スケールで気候変動に適応するためのクラウドバーストプランを対象に、計画の展開プロセスと計画の実行を支える仕組みを考察し、気候変動適応策を推進していくにあたっての戦略性を明らかにすることを目的とする。

(3) 研究の対象地と方法

研究の対象地であるコペンハーゲン(図-1)はデンマークの首都で、人口は583,525人(2015年)、面積は約86.4km²である。自治体計画¹⁾のMunicipal Plan The Coherent city (2015)では、持続可能な成長と市民の生活の質を統合的に追及することが記されており、環境指向と経済成長が人々の生活の質の向上と密接に連携した政策と事業が進められている。また、本市はEU加盟諸国の人口20万人以上の都市を対象とした2014年度の欧州環境首都に選定されており、欧州における環境政策への先進都市として評価が高い。特に近年の気候変動適応策の取り組みであるクラウドバーストプランは、アメリカ造園学会(ASLA)のProfessional Analysis and Planning Honor Award 2016や世界大都市気候先導グループ(C40)のThe Cities Award-Adaptation in Action 2016を受賞するなど現在進行形で評価が高い。そのため、本研究では

図-1 コペンハーゲンと10の行政区

表-1 ヒアリング概要

年	月	日	所属	担当者氏名
2016	10	5	コペンハーゲン市、気候適応ユニット 統括	ヤン・ラスムッセン
2016	10	6	Ramboll, 都市の水マネジメントと計画部 部長	クリスチャン・ニールセン
2016	10	6	Ramboll, 都市の水マネジメントと計画部	アストリッド・グルスガード

コペンハーゲンのクラウドバーストプランを対象とし、展開のプロセスと計画実現を支える仕組みを明らかにする。そして行政が発行する報告書と現地でのヒアリング(表-1)、ヒアリングで提供された資料に基づいてクラウドバーストプランへの取り組みの分析を行う。なお、本研究ではSkyburudsplan(2012)と、後述するキャッチメントエリアごとに設けられた Konkretisering af Skybrudsplan(2013)をクラウドバーストプランと定義する。

2. デンマークの計画制度とクラウドバーストプラン

(1) デンマークの計画制度

デンマークは2007年に「包括的な計画と経済的考察に基づく国全体、各地方自治体における適切な開発」や「計画策定段階における最大限の住民参加」を主要な目的として、自治体の再編と計画法を改正した。その結果、基礎自治体にあたる271のムーネは98に合併削減され、中間組織で県にあたる Amt を廃止し、ムーネの権限を拡大した。土地利用の計画や規制など、国土の空間形成に関わる行政権限は、国とムーネの間で分担されることとなり、ムーネにおける計画への裁量が大きい。

ムーネは国土計画を上位計画とし、自治体範囲の全域を対象に土地利用や交通計画を示す自治体計画(Municipal plan)を策定する。自治体計画の下位計画として街区レベルの計画や開発住宅地など限定的な範囲を対象とした地区計画(Local plan)を策定する²⁾。一方で、国は自治体計画に対して拒否権を持つことで、計画の策定に関して緊張関係を保持している。

(2) クラウドバーストプランの概要

クラウドバーストプラン(図-2)は、2010年から2011年の豪雨で、コペンハーゲンが甚大な被害を受けたことで自治体計画に位置付けられた内水氾濫対策の具体的計画として策定された。本計画は、内水氾濫対策に加えて、都市における生活の質を統合的に向上させることが重要とされている。また、ブルー・グリーンインフラストラクチャーと呼ばれる従来の排水管による雨水処理と地表面による雨水処理を組み合わせたプロジェクトがコペンハーゲン全域を300のマイナープロジェクトとしてカバーする計画で、都市スケールで計画がたてられている。

(3) クラウドバーストプランの展開プロセス

クラウドバーストプランの展開プロセスをヒアリングと文献レビューから、コペンハーゲンにおいて重要であった出来事や計画をもとに4つに区分した(図-3)。

1990年～2008年は「水質環境改善期」といえる。クラウドバーストプランに至るプロセスは、1990年代に工業地帯の水質環境悪化が問題となったことに端を発する。この問題は2000年にハーバー・バスプロジェクトと呼ばれる本格的な取り組みに発展し、水質環境改善と同時にレクリエーション施設の整備によって都市のアメニティ向上が目指された。2003年に、最初のハーバー・バスが完成し、市を代表するアイコンとなっている。ヤンは“最初の取り組み

図-2 クラウドバーストプランの300マイナープロジェクト (ヤン提供資料に筆者加筆)

は、港の水質環境改善だった。このプロジェクトが契機となり、排水規制や水質保護の枠組みが構築された。”と述べており、ハーバー・バスによる水質環境改善が排水規制に関する議論のきっかけとなった。2008年デンマーク政府から、初の気候変動適応策に関する計画である *Danish Strategy for adaptation to a changing climate*(2008)が出された。この計画では、適応策に関する理念として分野横断の必要性が掲げられた。さらに行政・民間・市民が気候変動に関して情報を共有するための行動を起こすことの重要性が述べられた。

ついで2009年～2010年は「気候変動適応策への変容期」といえる。2009年にコペンハーゲンで第15回気候変動枠組条約締約国会議(COP15)が開かれた。会議に合わせてコペンハーゲンは、初の気候変動対策に関わる *Klimaplan*(2009)を策定した。この計画は6分野50のイニシアチブを掲げた包括的なものであったが、“コペンハーゲン市は、気候変動に関わるリスク、経済的影響、市を防御

するための手段についての理解が不十分である。”と記されていることから適応策の必要性を述べながらも、将来的なリスクや経済に関する知識や対策が不透明だったといえる。

さらに、2011年～2014年は「クラウドバーストプラン発展期」といえる。国や国際会議で気候変動適応策に関する情報共有の場や、新たな計画の必要性が徐々に認識されてきた中で、2010年8月15日と2011年7月2日、2011年8月15日に3度の豪雨が発生した。特に、7月2日の豪雨では、2時間に150mm雨量が観測されて、被害総額は約10億ユーロだった。ヤンは“2010年が、気候変動適応戦略元年となった。政治家らは、「同じような被害が二度と発生しないような対策をしなければならない」と述べた”といい、これら一連の豪雨が大きなきっかけとなり気候変動適応策の必要性が政治家をはじめ市民レベルでも認識されたといえる。一方で、コペンハーゲン市は、この豪雨が発生する以前に公益会社である *HOFOR*のや建設コンサルタン

図-3 クラウドバーストプランの展開プロセス(筆者作成)

トの Ramboll により、市内における洪水シミュレーションを行っていた。Ramboll のクリスチャンは“2010 年、コペンハーゲン市民は猛烈な豪雨に見舞われた。この出来事は気候変動適応戦略を推進させる大きな理由となり、HOFOR と Ramboll は豪雨以前に行われた洪水シミュレーションを通じて気候変動適応戦略のメンバーとなった。”と述べており、このシミュレーションをベースにコペンハーゲンにおける気候変動適応策は、水をどのようにマネジメントしていくかが重要な課題として議論されていくこととなった。そして、2011 年にコペンハーゲンから Klimatilpasningsplan(2011)がだされた。この計画は、市内に潜む気候変動に関連したリスク(図-4)を示すと同時に、そのリスクを従来型の排水管による地下での雨水処理と、地表面での雨水処理技術を組み合わせで解決するブルー・グリーンインフラを示した。また、2012 年にデンマーク政府から、気候変動適応策のアクションプランとなる How to manage cloudburst Action plan for climate proof Denmark(2012)が出された。この計画では、国と自治体の連携により、気候変動適応策を推進していくことが定められた。具体的な行動として財務省や防衛省、環境省が参加する気候変動適応ポータルサイト (<http://en.klimatilpasning.dk/>)が設置される。同年5月には、デンマーク議会で各コムーネが気候変動適応策を示すことが国によって義務化される。さらに、同年12月、コペンハーゲンは Klimatilpasningsplan を実行に移すために Skybrudspiln を示す。この計画は、大きく(1)今後100年に1度の豪雨で市内の道路表面が最大10cmの冠水で済むことを想定したインフラをつくっていくこと。(2)水を排水できる条件を考慮して、それぞれのエリア内で水マネジメントが完結するように設定された7つのキャッチメントエリアをつくることを示した。2013年には、キャッ

チメントエリアごとの具体的な計画となる、7つの Konkretisering af Skybrudspiln が示される。この計画は7つのキャッチメントエリアを、60のプランチエリアに細分化し、そのプランチエリア内でおおよそ300のマイナープロジェクトを展開する計画として示している(図-2)。マイナープロジェクトは、各々が連動しながら雨水を地表面や地下で排水するように計画されている。

最後に、2015年11月のコペンハーゲン議会での承認を得て、2015年から2035年までの20年をかけて洪水リスクの高いところ(図-4)から段階的にクラウドバーストプランを実行することが決定されている。現在は「クラウドバーストプラン実行期」に入ったといえる。

3. クラウドバーストプラン実現を支えた仕組み

(1) Co-finance scheme - 法改正による新たな経済手法の確立
地表面による雨水処理を従来型の地下に埋設された排水管による方法と組み合わせるほうが、従来の方法とくらべて経済的⁴⁾であることが示された。一方で、その資金確保については不透明だった。2012年にだされた Skybrudspiln にはブルー・グリーンインフラによる水マネジメントを実施する場合に、現行の法律では仕組みが不十分で新たな法改正による経済手法の確立が必要であると記されている。同年に国が示したアクションプランにおいても、5つの構想のひとつに、適応策のための法律や規則に関する仕組みを変える必要性が述べられている。それにより、環境省主導でデンマーク議会は排水の支払いに関わる法律である“公共下水の支払いに関する法律”についての法改正を2013年1月30日に行った。ヤングが“従来、雨水排水と上下水道を取り扱う HOFOR は、地下に埋設される排水管のみの投資しか許されなかったが、法改正によって雨水を地表面で処理するた

図-4 洪水リスクマップ(Klimatilpasningsplan)

図-5 Co-finance の費用負担責任を示す図(ヤン提供に加筆)

図-6 環境と技術部の組織図

めの投資が可能となった。雨水を地下排水と地表面排水の組み合わせで処理する方法が経済的であった。”というように経済的合理性を伴う法改正が 適応策を実行するための運営資金を確保し、計画の実効支援を行った。また、土地所有者に対しては、排水に関連した工事を行う際、雨水逆流防止弁の費用を負担させるなどして、個人に対しても負担金が発生するようにした。市は、主に植栽や街路備品に関して負担をし、HOFORは、開削や水道工事に関して負担をする(図-5)。法改正による新たな経済手法は事業の実効性を高めた。

(2) Technical and Environmental Administration -環境と技術部
コペンハーゲン市における建設事業は環境と技術部が担っており、4つの部門に分けられている(図-6)。都市計画は開発部門が担当しており、その中の都市戦略部に気候適応ユニットが存在している。本ユニットは、環境、都市計画、公園計画など様々な専門性をもった約 20 名のスタッフが配属されたユニットになっている。ヤンは“排水の一部を、長期的な視野で地上部でも処理する新たなシステムへ改変するために、異なる専門家が協調的な関係にある必要がある。”と述べており、地下の排水管のみならず地表面の道路構造や交通計画などの要素に関わる整備は、横断的な視点で考えることが求められる。

(3) タイポロジー - デザインの簡便さと自由度の両立

クラウドバーストプランには、地表面で雨水を処理する(1)クラウドバーストロード (2)リテンションロード (3)リテンションスペース (4)グリーンロードと呼ばれる、「排水を遅らせる遅延・水を貯める貯留・地中に水を染み込ませる保持/浸透・水を河川や湖に運ぶ輸送」という諸機能を統合的に考えられた4つのタイポロジーが存在する²⁴⁾(図-7)。さらに、鉄道や幹線道路など地表面において展開される4つのタイポロジーが利用できない場合に、従来も利用されてきた地中に埋められる排水管を(5)クラウドバーストパイプとして展開している。およそ300に及ぶマイナープロジェクトは全てこの5つのタイポロジーに分類されている。このことから、Skybrudsplanに示された性能規定を達成するため

のタイポロジーは、都市スケールで計画立案する簡便さと個別の空間を設計する際の自由度がある。

具体的に、ブランチェリアのひとつ、KORSGADEを対象に北欧理事会と市が主催して実施された、基本デザインを提案するノルディック・ビルト・シティーズコンペティションでは、クラウドバーストプランで計画されたタイポロジーに基づき描かれた排水シナリオに従うことをひとつの提案条件²⁵⁾とした。一方で、流水経路など具体的な空間の設えは設計者自身に委ねられており、市は気候変動適応策として都市に必要な機能は満たしつつも、設計者に空間デザインは一任することで空間の質を確保しようとしている。

5. 考察

本計画は、気候変動に対応した洪水リスク軽減の施設を都市内に単目的に分散させた計画と異なり、戦略的に計画立案がなされていた。この戦略性とは、段階的な計画策

クラウドバーストロード

豪雨時に貯留施設へ雨水が流れ込むための通路としての機能を持つ。港の近辺では速やかに雨水排水を行う。

リテンションスペース

豪雨時に周囲の街路から雨水を集水をおこない、雨水の貯留及び蒸発散を行う機能を持つ。公園施設を中心に計画される。

グリーンロード

リテンションロード

豪雨時に排水路や植栽帯に配置された緑により、雨水の浸透・保持による雨水流出抑制を遅らせる機能を持つ。グリーンロードは細街路で計画される。

図-7 タイポロジー(ヤン提供に加筆、参考文献24参照)

定のみならず、計画の実効性を高める後方支援を充実させることである。具体的には、計画の背後にある横断的な組織体制や新たな経済手法を法改正により確立した。さらにタイポロジーは、空間デザインの自由度を確保しながら、都市に必要な機能を満たしている。

近年、自治体が水循環の視点から策定する計画はみられるものの、現状は既存の都市計画と一体的に捉えられておらず、実効性を高める組織体制や法制度、都市のデザインが統合的に議論されていない。そこで、自治体による都市スケールでの包括的な計画立案と並行して、実効性を高める法改正等の議論を戦略的に展開されることが考えられる。

今後は、気候変動適応戦略として都市スケールで展開されるクラウドバーストプランが、実空間にどのように設計されていくのかを事例と合わせて捉えていきたい。

〈謝辞〉

本研究の遂行にあたり、東京農業大学の福岡孝則准教授、崇城大学の古賀元也助教に資料・情報提供、現地での案内などで大変お世話になった。ここに付してお礼申し上げる。

【補注】

- (1) デンマークの各自治体は、行政範囲全体の自治体計画(計画期間12年)を策定する。本計画は議会選挙に合わせて4年毎に改定され、議会にて最終決定される。直接土地所有者を縛るものではないが、この計画に従い開発・規制を具体化する必要がある。わが国の総合計画に類似する。
- (2) コペンハーゲン市では、コムーネ内に存在する区にあたる行政区(図-1)が、市民の代表者らにより構成される地域委員会の声を反映させて地区計画¹⁹⁾を作成する。
- (3) HOFOR は、コペンハーゲン市が株の約7割を保有するデンマーク最大の水供給や地域の熱供給に関わる公益会社である²⁴⁾。そのため、営利活動は法による規制を受ける。
- (4) 2015年にだされたコペンハーゲン市の City of Copenhagen, Climate Change Adaptation and Investment Statement-Part2(2015)では、従来の方法に比べてブルー・グリーンインフラストラクチャーによる手法では、およそ1/4の費用で済むと試算された。

【参考文献】

- 1) IPCC(2014), Climate Change 2014 Synthesis Report Summary for Policy makers
- 2) Green Infrastructure (GI) — Enhancing Europe's Natural Capital (2013)European Commission
- 3) 遠藤新(2011)米国都市における雨水流出管理政策としてのグリーンインフラ計画に関する研究 - ペンシルバニア州フィラデルフィア市の雨水規制長期計画を題材に, 都市計画論文集 Vol. 46. No. 3 649-654
- 4) 福岡孝則(2015)ポートランド市のグリーンインフラ適用策事例から学ぶ日本での適応策整備に向けた課題, ランドスケープ研究, vol. 78(5), 777-782

- 5) 木下剛(2015)リバプール市におけるグリーンインフラストラクチャーを実現する枠組みと手法, ランドスケープ研究, vol. 78(5), 767-772
- 6) Rutger de Graaf, Rutger van der Brugge (2010) Transforming water infrastructure by linking water management and urban renewal in Rotterdam, Technological Forecasting & Social Change 77, 1282-1291
- 7) 武田史朗(2016)自然と対話する都市へ: オランダ河川改修に学ぶ, 昭和堂
- 8) Salar Haghighatafshar, Jes La Cour Jensen, Henrik Aspegren, Viveka Lidström, Ann Mattson, Karin Jönsson(2014)Storm-Water Management in Malmö and Copenhagen with Regard to Climate Change Scenarios, Journal of Water Management and Research, 70: 159-168
- 10) City of Copenhagen (2015) CITY OF COPENHAGEN MUNIC-IPAL PLAN 2015
- 11) City of Copenhagen(2012)Skybrudsplan
- 12) City of Copenhagen(2013)Konkretisering af Skybrudsplan, Østerbro, 2013.
- 13) City of Copenhagen(2013)Konkretisering af Skybrudsplan, Bispebjerg, Ryparken & Dyssegård
- 14) City of Copenhagen(2013)Konkretisering af Skybrudsplan, København Vest og Frederiksberg Vest
- 15) City of Copenhagen(2013)Konkretisering af Skybrudsplan, Ladegårdså, Fredriksberg Øst og Vesterbro Oplande
- 16) City of Copenhagen(2013)Konkretisering af Skybrudsplan, Indre by
- 17) City of Copenhagen(2013)Konkretisering af Skybrudsplan, Nørrebro
- 18) City of Copenhagen(2013)Konkretisering af Skybrudsplan, Amager & Christianshavn
- 19) 中島朋子他(2014)デンマークのヒュッゲな生活空間-住まい・高齢者住宅・デザイン・都市計画, 萌文社, pp212-213
- 20) The Danish Government(2008)Danish Strategy for Adaptation to a Changing Climate
- 20) City of Copenhagen (2009) Klimaplan, p29
- 21) Task Force for Climate Change Adaptation Danish Nature Agency (2012), How to manage cloudburst and rain water Action plan for a climate-proof Denmark
- 22) City of Copenhagen (2011) Klimatilpasningsplan
- 23) The Danish Parliament HP : L 98 Forslag til lov om ændring af lov om betalingsregler for spildevandsforsynings-selskaber m.v. og lov om vandløb-
<http://www.ft.dk/samling/20121/lovforslag/l98/index.htm>, 2017年1月
- 24) City of Copenhagen (2013)Climate Change Adaptation and Investment Statement, Part1
- 25) Områdefornyelsen Nørrebro(2016) PROGRAMME NORDIC BUILT CITIES CHALLENGE Hans Tavsens Park