煙突火災への対応 – ケーススタディ

1994 年 3 月 28 日 19 時 36 分頃、ニューヨークの消防署がワッツ通り 62 番地の煙突火災に出動した。到着時、煙突から大量の煙が出ていた。結果として、煙突火災を制圧しきれず、3 人の消防士が殉職した。この記事では、バックドラフトの特殊なケースを取り上げる。そもそもバックドラフトそのものが特殊なケースなのだが、それだけでなく、非常によく記録が残っているからである。

1.建物状況

火元となったアパートが建てられたのは 1800 年代に遡る。この種の建物は、今でもほとんどの大都市で見ることができる。この建物は地上 3 階、地下 1 階で、合計 4 つのフロアに分かれていた。そのフロアの 1 つである地下室は、地面の半分程度の高さにある（図 1.2 参照）。この建物には各階に 1 つずつ部屋があった。出入口は、地下のフロアには専用のものがあり、他のフロアには共用の階段でアクセスすることができた。

図 1.1 ワッツ通り 62 番地のストリートビュー。その左に同じ建物が見える。右側にも同じような建物があるが、同一ではない。

この建物は、何度か改修されている。最後の改修では、木製のラスに古い漆喰を塗った天井を新しい天井に取り替える工事であった。その結果、天井の高さは2.5m 程度となり、施工前よりも天井は低くなった。窓やドアも交換され、徹底した断熱工事が施された。建物の気密性を高める努力もなされた。

各アパートは約 80 ㎡。（図 3.1 参照）実際、この間取りは、ベルギーのゲントやブリュッセル、アントワープの改装されたアパートによく似ている。間違いなく、これは私たちにも起こりうることだ。

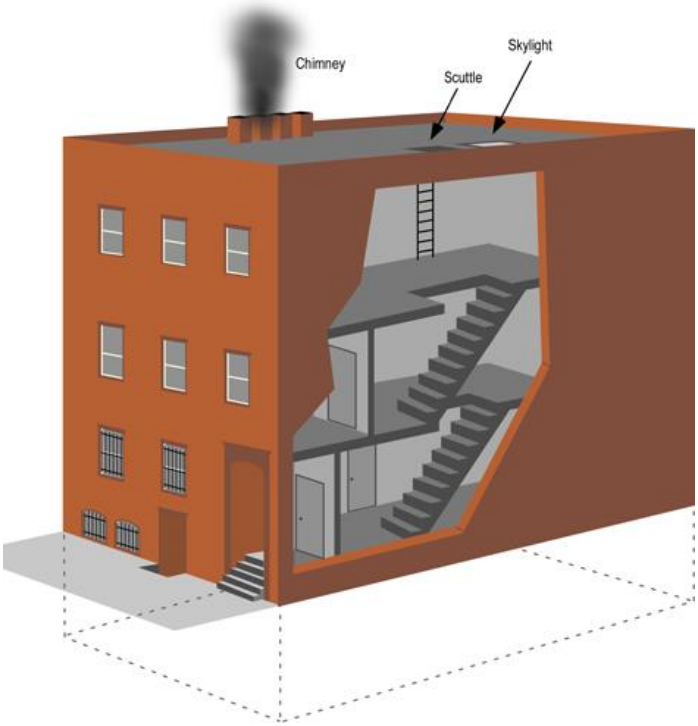

図 1.2 階段の配置
（図：Figure: Ed Hartin & Richard Bubowsk）

2. 火災発生

火元は 1 階。住人が 18 時 25 分頃アパートを出る際、ゴミの入ったビニール袋を台所のコンロの上に置いたままにしていたことが火災の原因だと判明した。ガスコンロの炎がビニール袋とその中身に火をつけたと思われる。その後、火は急速に大きくなり、キッチン全体に燃え移った。区画内の温度が著しく上昇したことは間違いない。火に新鮮な空気を送り込む唯一の入口は、居間の暖炉からの煙突だった。出火当初、新鮮な空気はこの煙突から入ってきた。なぜなら、浴室と寝室のドアが閉まっていたため、台所の火に向かう新鮮な空気の流入は非常に限られていたからだ。結果として火災の被害は居間と台所に限定された。

ある瞬間、煙の層が居間の暖炉の入口より下に来た。この瞬間から煙突は煙の出口となった。火は利用可能な酸素をすべて使い果たし、換気不足になった。（このシリーズの 2 番目の記事「空気不足に陥った火災.....」も参照）。ほぼ密閉された構造であったため、利用可能な酸素はほとんどなくなり、火は酸素不足のためにくすぶり始めた。徹底した断熱によって、区画内は高い温度を維持した。この温度は、物質の熱分解を継続するために必要な温度として十分だった。そして、消防士が到着するまでに熱分解ガスが区画内に充満するための必要な時間が十分にあった。結果として区画内は可燃性ガスで満たされた貯蔵庫となった。

火災は当初は気づかれないままだった。ある時、通りすがりの人が煙突から異常に大量の煙が出ているのに気づいた。その煙は炎を伴っていた。その人は煙突火災で消防署に通報した。

3. 消防隊の対応

消防隊は 3 台の消防車、2 台のはしご車、そして署長 1 名で出動した。

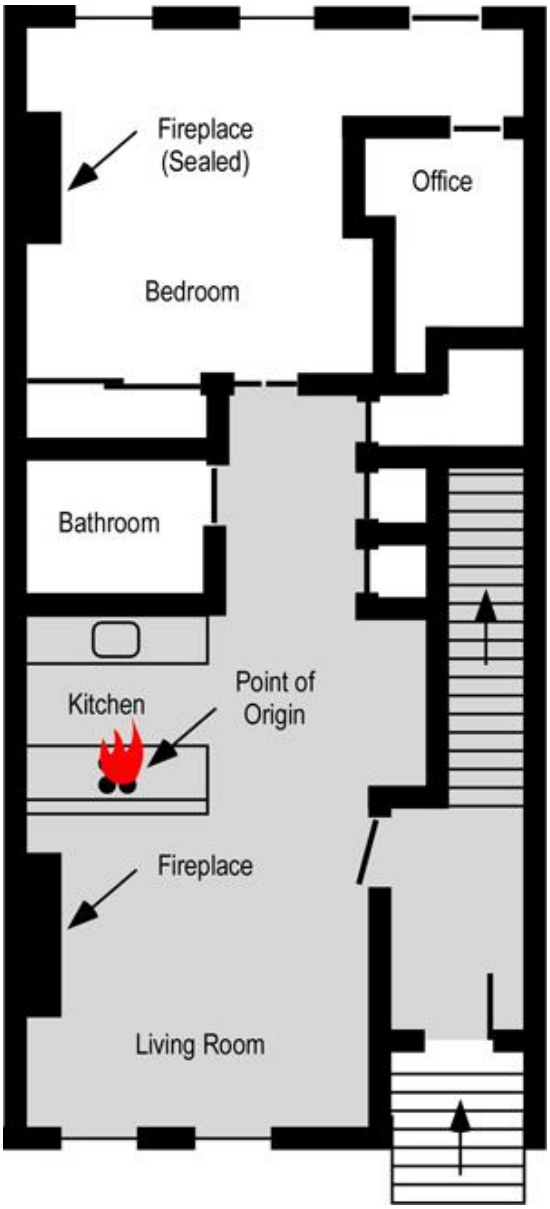

図 3.1 1 階平面図
(図：Ed hartin)

消防隊が到着したとき、この建物に特別な危険を示す要素はほとんどない。到着後は、ニューヨーク市消防局（FDNY）で知られているように、標準的な作業手順が用いられる。北米の消防署の多くで重要な任務は換気（ベント）である。そのため、はしご車 1 台が直接出動し、階段の上にあるハッチを開けて煙を排出する。

署長はこの火災に対処するため、3 人一組のチームを 2 班編成した。充水したホースを持ちながら彼らは、建物内のすべてのアパートをチェックしていく。まず 1 階から、そして 2 階へ。

2 班とも、まず攻撃ラインを設置する。消防隊員が 1 階のドアを開けると、暖かい（熱くない）煙が階段に向かって吹き出す。その後、すぐに新鮮な空気がアパートの中に入っていく。ドアを開けていた消防士は、これをバックドラフトの前兆だと認識し、急いで逃げようとする。この直後、バックドラフトが起こり、階段は炎に包まれた。炎の勢いは強く、階段上部の排煙口を突き抜けていく。この炎は通りからも見える。そこでは一般市民が一部始終を撮影していた。彼の映像から、研究者はバックドラフトによる炎が 6 分以上続いたと結論づけた。

1 階にいた消防士たちはバックドラフトが来るのを察知し退避したため、軽傷で済んだ。しかし、2 階にいた消防士たちは逃げ場を失い、閉じ込められた。1 人は現場で死亡。他の消防士は 2 人とも病院の火傷病棟に搬送された。一人は 24 時間以内に、もう一人は 40 日後に亡くなった。

ニューヨーク市消防局は NIST に、このような激しいバックドラフトが発生した原因を調査するよう依頼した。特に、炎が 6 分以上も燃え続けたことは、目のくらむような出来事であった。

4.科学的分析

4.1 バックドラフトの挙動に関する実験

90 年代初頭、3 人の科学者がバックドラフトの原因となる条件について研究を行った。研究者たちは、実際の火災で発生する熱分解ガスの代用として、主にメタン（天然ガス）を使用した。長さ×幅×高さ＝2.4m×1.2m×1.2m（7.87ft×3.93ft×3.93ft）の区画を使用した。区画内には測定センサーが設置され、区画内に気流を作り出すために、コンピューターが選択した瞬間に開けることができるハッチも設置された。室内にはバーナーを設置した。この実験では、70kW と 200kW のバーナーを使用した。その結果、本物のバックドラフトを発生させるには、少なくとも 10%の炭化水素ガスが存在する必要があることがわかった。これより低い濃度では、ガスの燃焼は起こったが爆発は起こらなかった。

前回の記事では、バックドラフトは初期火災のくすぶりでは発生しないことを示したチッティの研究を紹介した。彼は、くすぶりでは十分なエネルギーが発生しないことを示した。バックドラフトが発生するのは、再燃した火災の炎である。ワッツ通り 62 番地のバックドラフトに関する調査では、これらの結論が考慮されている。

4.2 CFAST による分析

CFAST は火災のシミュレーションを可能にするソフトウェアである。科学者たちは、このソフトウェアを使ってワッツ通りの火災をモデレートしようとした。そこで彼らは、燃えたビニール袋から 25kW のエネルギーが発生したと仮定した。これは、燃えるビニール袋から予想される熱放出率である。彼らは、実際のアパートと同じ寸法の区画（リビングとキッチン）でこのような火災をシミュレートした。シミュレーションでは、階段と煙突も考慮された。予想されたピークは 1MW であったが、新鮮な空気の不足のため、ピークに達することはなかった。

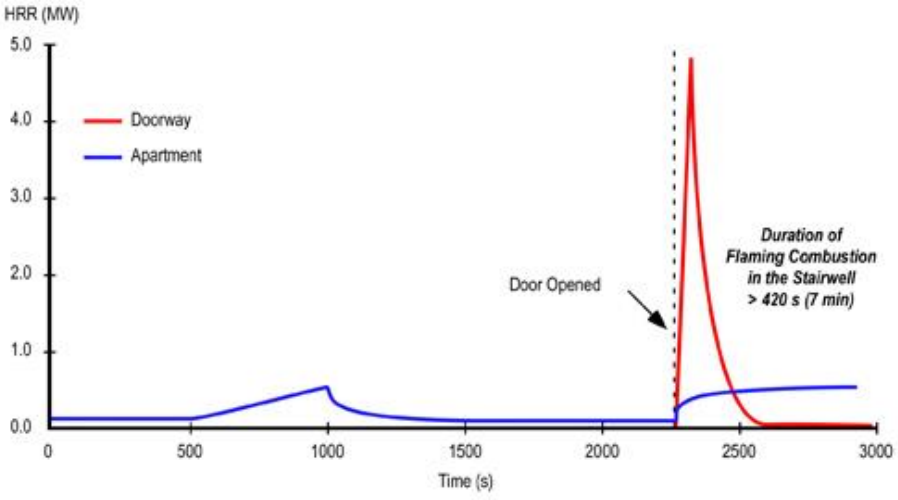

図 4.1 エネルギー蓄積。青い線はアパートの熱放出率を、赤い線は階段の熱放出率を示す。
（画像：Ed Hartin & Richard Bubowski）

ドアが開くと、コンピューター・シミュレーションでは、火災ガスがアパートの外に流れ出し、空気がアパートの中に流れ込むことが示された。このシミュレーションは、現場での消防士の観察結果を裏付けるものであった。図 4.1 は、時間経過に伴う熱放出率を示している。居室内の熱放出率が500kW を超えることはなかった。一方、階段で発生した熱放出率は 5 MW である。

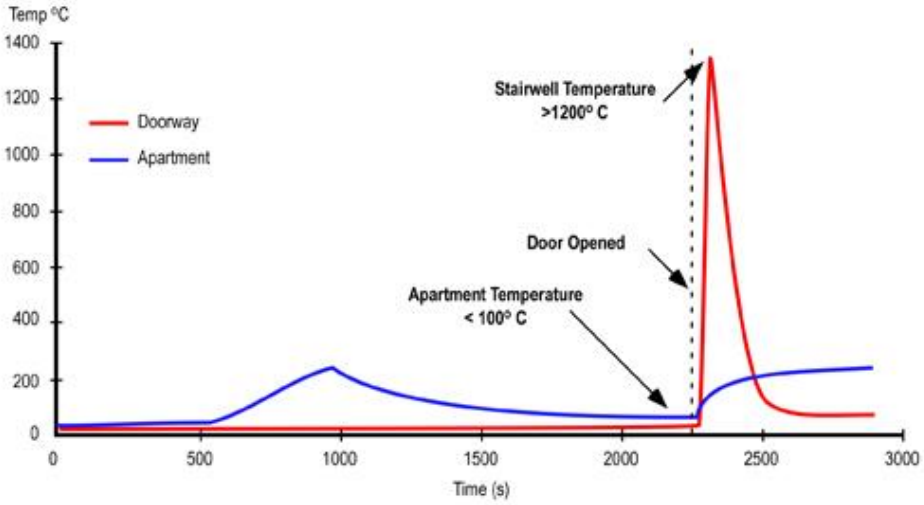

図 4.2 アパートの温度（青）と階段の温度（赤）。
（グラフ：Ed Hartin & Richard Bubowski）

アパートの温度はかなり低いままだった。シミュレーションでは、約 500 秒後に炎を伴う燃焼が始まる（発展段階）。温度は 8 分かけて 300℃まで上昇する。その後、ドアが開くまで、温度は徐々に下がっていく。つまり、区画内の温度は、熱分解ガスの生成に十分な高温を長時間維持したことになる。シミュレーションの結果、居室内では、強烈な火炎をほぼ 7 分間維持させ続けるために十分な熱分解ガスと一酸化炭素が発生したことが分かった。

ドアを開ける前のアパートの温度は 100℃以下だった。ドアを開けた後、階段の温度は 1200℃まで上昇した。このような状況での生存が不可能であることは明らかだ。

5. 教訓

5.1 改装された建物

建物の改築はトレンドである。政府は、気密性断熱性を高めたよりエネルギー効率の高い住宅（省エネ住宅）にするよう、財政的支援で人々を動かしている。このアパートは 19 世紀後半に建てられた。この場合、連続したさまざまな改修工事によって、建物は劇的に変化した。その結果、予想される火災の挙動と建物から受ける第一印象を結びつけることができなくなった。以前は、古い建物を見れば、高い確率で火災の挙動を予測することができた。室内の温度が上がれば、すぐに窓が割れ、換気された完全な火災が発生する。構造的には、煙がたまるシャフトや空洞が隠れた危険となることは少なかった。最近では、古い建物であっても、換気不足の火災や、シャフト、空洞、偽の天井などに蓄積された火災ガスの危険性を警戒しなければならない。

5.2 ドアコントロールの手順

ベルギーでは、消防士を対象とした新しい訓練が開始され、全国統一のドアコントロールの手順が導入された。この新しい手順は、区画から出てくる可能性のある高温の煙を冷却するために、水をパルス状に注水することを想定している。また、2 人目の隊員がドアの開閉をコントロールすることになっている。そうすれば、何かあったときにドアを閉めることができる。最初の行動は、少なくとも高温の火災ガスの発火を遅らせることになる。もうひとつは区画から吹き出す大量の煙に驚いたり、強い内向きの気流に気づいたりしたときに、反射的にドアを閉めることができるようにするためだ。

5.3 垂直換気。

近年まで、バックドラフトが発生した場合、垂直換気が有効であると考えられてきた。他の換気シナリオと同様に、火災ガスの経路は極めて重要である。火災ガスが出口で引火すれば、ほとんどの場合、二次火災を引き起こす。この流路の同線上に消防士がいれば、ほとんどの場合、重傷を負うことになる。換気技術については、ベルギーでの知識はかなり限られている。しかし、ひとつ確かなことは、「バックドラフト＝垂直換気」という単純なものではないということだ。

5.4 ガス冷却

ガス冷却（3D 技術）は現在、煙の危険性を中和する技術として世界的に受け入れられている。しかし、その適用は 70m2（753 平方フィート）以下の容積と限られた高さに限定されるとされてきた。このケースは、どんな冷却もほとんど効果がないほど低い温度の火災ガスを伴う換気不足の火災が存在することを教えてくれる。ドアを開ける直前、アパートの温度は 100℃を下回った。つまり、水が蒸発しなくなり、蒸気が発生しなくなるため、火災ガスの温度はほとんど下がらなくなる。可能性のある火災の発生を遅らせたり、食い止めたりするのは蒸気なのだ。ガス冷却技術は素晴らしいが、限界がある。

5.5 煙突火災

当初、消防署は煙突火災で出動要請を受けた。北米では、煙突火災に出動する部隊はヨーロッパなどに比べて多くの部隊を出動させる。このシステムのおかげで、バックドラフトが発生したとき、現場にはかなりの数の隊員と装備があった。これにより、事態がさらに悪化することは避けられた。

ベルギーの消防署では、煙突火災に 4 人の消防士と 1 台か 2 台の消防車で対応することがある。バックドラフトで 1 人か 2 人の隊員が倒れたらどうなるのだろう？th2007 年 2 月 7 日、ロシュフォール消防署（ベルギー）のエリック・ペロ消防士が、火災の急激な進行により勤務中に死亡した。彼と彼のチームが駆けつけた通報は...煙突火災だった。

4.参考文献

[1] *Bubowski, Richard, Modelling a Backdraft incident, Fire Engineers Journal November 1996*

[2] *Hartin Ed, 15 years ago: Backdraft at 62 Watts Street, March 2009*

[3] *Hartin Ed, 62 Watts Street: Modelling the backdraft, March 2009*

[4] *Bengtsson Lars-Göran, Enclosure Fires, 2001*

[5] *Fleischman, Pagni & Williamson, Quantative backdraft experiments, 1994*

[6] *Chitty R, A survey of backdraught, 1994*

[7] *Perez-Pena Richard, New York Times, Fireman dies in battling blaze in Soho, 1994*

[8] *Le Soir, mort dans un incendie à Rochefort, February 2007*

Karel Lambert