

大学における地震 AACP (学術活動継続計画) の調査及び考察

86090 相馬直樹

指導教員 高田毅士教授

1. はじめに

近年、産業の高度化やサプライチェーンの複雑化に伴い、災害時に建築物の倒壊防止や人命保護を考えるだけでなく「重要業務を中断させず、もし中断した場合は可能な限り早急に復旧させる」という事業継続計画(BCP: Business Continuity Plan)が注目されている。BCP の重要性を世に知らしめた例として、2007年の新潟県中越沖地震の際、自動車の部品メーカーの事業が中断し、国内全自動車メーカーの生産をストップさせてしまった事故が記憶に新しい。事業停止に伴い、直接的なダメージだけでなく、信用力やブランド価値が低下し、株価の下落、取引の縮小に至るといった事態も十分に考えられる。BCPに無関心でいられる時代はもはや過ぎ去ったといえよう。

一方、産業界から大学に視点を変えてみると、大学全入時代が到来し、国立大学は法人化され、私立大学は4割が経営赤字¹⁾、さらには廃校となる大学も出てきている。他者との競争に負ければ組織自体の存亡も危うい現代では、企業だけでなく大学もステークホルダーの要求に一層応えていかなければならない。以上の理由から、本研究では「大学におけるBCP」、つまり学術活動継続計画(AACP: Academic Activity Continuity Plan)のための現状調査および考察を行い、大学がBCPを策定することの意義を解明することを目的とする。なお、日本でBCPを考える上で最も重要な要素となる地震を対象に絞ることとする。以後、大学における地震を対象としたBCPを、「地震AACP」と呼称する。学術活動継続性の程度という意味では、「地震AAC」を用いる。

2. 本論文の構成

現在のところ、大学の学術活動停止日数と地震動の各指標(例えば、PGA や PGV)との関係を示すデータは全くない。3章ではまず、データが存在し、大学の特性と近いと考えられるオフィスのデータを用いて検討を行う。また、大学ごとの学術活動継続性(AAC)の違いの有無を検証するため、独自の「学術活動継続性指標」の提案を行い、4つの大学で相互比較を行う。次に、大学らしさという面で、「キャンパス分散」が学術活動継続性に与える影響を地震動の空間相関を考慮して解析する。以上が前半部分であり、地震AACPに対する基礎的な成果である。

4章では、実現象の実用的な理解をめざし、地震により大学が学術活動を停止した実例を調査し、3章までの検討がどの程度現実に即しているのかを考察する。さらに、大学キャンパスの「ポートフォリオ」としての機能がどのように停止日数に影響を与えているのかについて考察を行う。

最後に、本研究により明らかとなった現状の地震AACを今後どう改善してゆくかを考える。シミュレーションにより様々な地震AACPを策定した場合の停止日数曲線を算出し、どの策が効果的であるのか、吟味する。

3. 地震AACPの基礎的考察

3.1.1 地震AAC評価手法

ここでは、オフィスの事業停止日数に関する既往の研究を用い、大学キャンパスを一つのオフィスビルとしてモデル化することによりAAC評価を試みる。坂本²⁾は、PGAと停止日

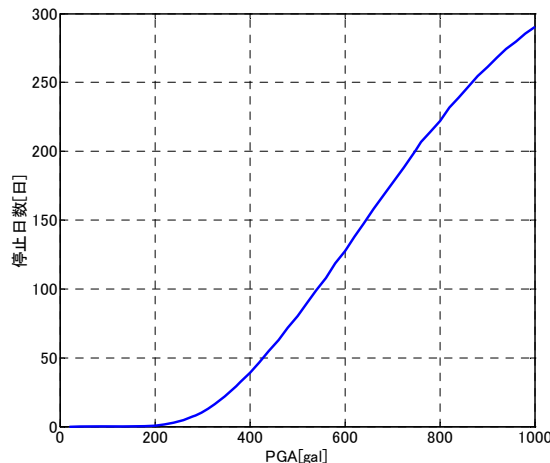


図1 停止日数曲線

表1 各大学の諸元(学生数は、各大学 web ページによる)

大学	キャンパス	学生数[人]	PGA(地表)
東京大学	本郷	17000	496
	駒場	9000	496
	柏	2000	491
東北大学	川内	8000	420
	青葉山	7000	416
	星稜	2000	427
名古屋大学	東山	15000	696
宇都宮大学	峰	3000	308
	陽東	2000	309

注: PGA は、今後 50 年間に超過確率が 10% となるような加速度値[cm/s²]

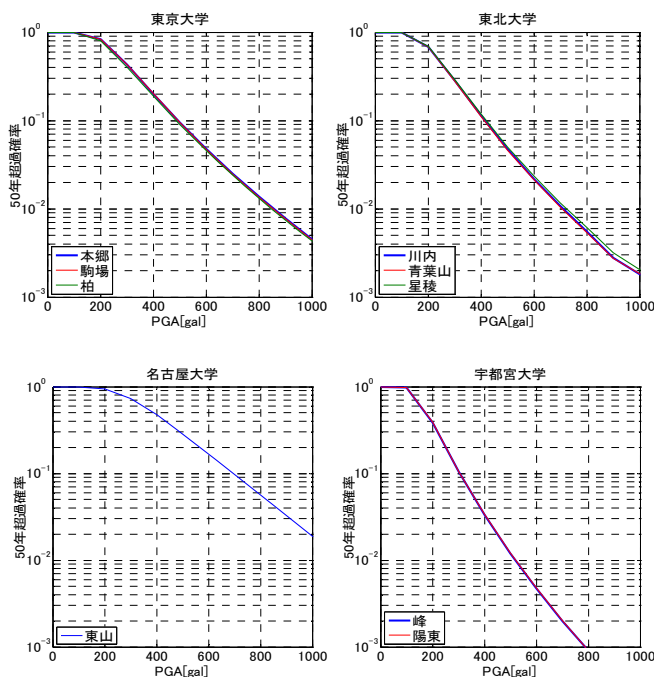


図2 各キャンパス所在地(地表)のハザードカーブ

数との関係について、図1のような曲線(以後、停止日数曲線と呼ぶ。)を提案している。本検討では、表1に示す4大学を選出し、各大学のAACを定量的に表現し、比較を試みる。なお、以下では在籍学生数が総学生数の1割に満たないキャンパスについては除外しており、学生数は100人の桁を四捨五入している。

そこで、学生数やキャンパス数に影響を受けずに比較できるよう、式(1)のようなAAC指標を提案する。

当該大学のAAC指標[日]

$$= \sum_{\text{キャンパス}} (\text{PGAから予測した学術活動停止日数}) \times (\text{在籍学生の割合})$$

$$= \sum_{\text{キャンパス}} (\text{PGAから予測した学術活動停止日数}) \times \frac{(\text{当該キャンパスの学生数})}{(\text{大学全体の学生数})} \dots (1)$$

図2に示す各キャンパス所在地のハザードカーブより、今後50年に超過確率10%となるようなPGA[cm/s²]を求め、それを図1の曲線に当てはめそれを当該キャンパスの期待停止日数とする。この作業を全てのキャンパスで行い、キャンパス所属学生割合で重みづけ平均したものを最終的に当該大学の地震AAC指標とする。ここで、異なるキャンパスのPGAから求めた停止日数を単純に線形結合することは本来ハザードカーブの性格上できないが、基礎的な評価を行うため、便宜的に人数で重みづけ平均した。

3.1.2 AAC評価結果

評価結果を表2に示す。これを見ると、大学によりかなり停止日数に差があることが分かる。例えば名古屋大学は宇都宮大学の8倍近い停止日数が予想されており、これは一意にハザードの差によるものであるといえる(校舎の数や強度の情報は評価に取り入れていないため)。

また、同じ大学でもキャンパスによって予想される停止日数が1割程度異なる大学(東北大学)もあり、この結果から、大学としての地震AACを評価するためには、点在するキャンパスの特性を加味することが重要であることが分かる。

3.2.1 キャンパス分散が及ぼす地震AACへの影響

キャンパスを名古屋大学のように一極集中させれば、地震動は完全相関となるが、他の大学のように分散させると、地震動は、サイト間距離に依存した相関をもつと考えられる。Wang&Takada^[3]による地震動の空間相関を考慮したときのいくつかのシナリオ下における地震AACが、地震動を完全相関、または独立と仮定した場合とどう異なるかを検証する。距離減衰式によりPGAの中央値を予測し、予測されたPGAのばらつきは、モンテカルロシミュレーションを用いる。シナリオは、関東地震(大正12年9月1日 Mw=7.2)、想定宮城県沖地震(Mw=7.6)を用い、それぞれ東京大学、東北大学の評価結果を示す。本検討では、大学間比較は行わないため在籍学生割合による重みづけは行わず、3つすべてのキャンパスの停止日数を足し合わせた数値(トータル停止日数)を考える。

3.2.2 検討結果

図3にトータル停止日数の度数分布(東京大学のみ)、図4にトータル停止日数の超過確率分布を示す。実線が東京大学(関東地震)、破線が東北大学(想定宮城県沖地震)の結果である。

これを見ると、トータル停止日数の分布形が相関考慮の有無により異なることがわかる。なお、中央値は東北大学・独立の場合を除き、シナリオごとに等しかった。もし数日から数週間程度の学術活動停止であれば、夏休みや春休みを振り替えれば済む可能性も十分ある。だが学術活動停止が3、4ヶ月を超えてしまうと振り替え切れず、全員が進学要件を満たせないなど非

表2 各大学の学術活動停止日数[日]

大学	キャンパス	停止日数	重みづけ平均
東京大学	本郷	77.2	77.02
	駒場	77.2	
	柏	74.7	
東北大学	川内	47.4	47.12
	青葉山	46.0	
	星稜	49.9	
名古屋大学	東山	123.3	123.30
宇都宮大学	峰	15.5	15.58
	陽東	15.7	

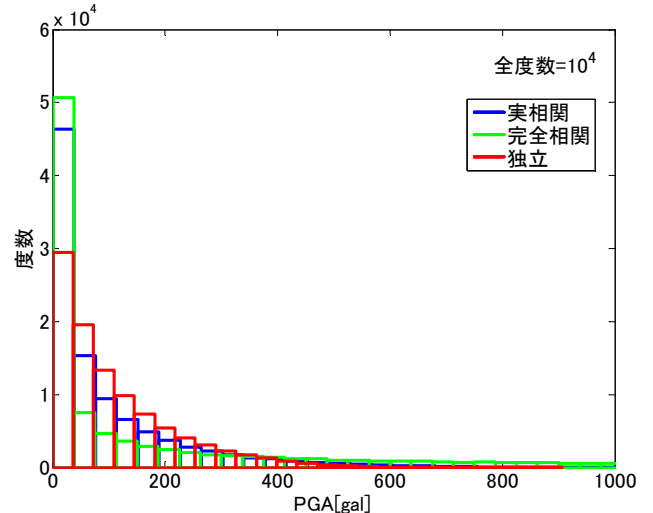


図3 トータル停止日数の度数分布(東京大学)

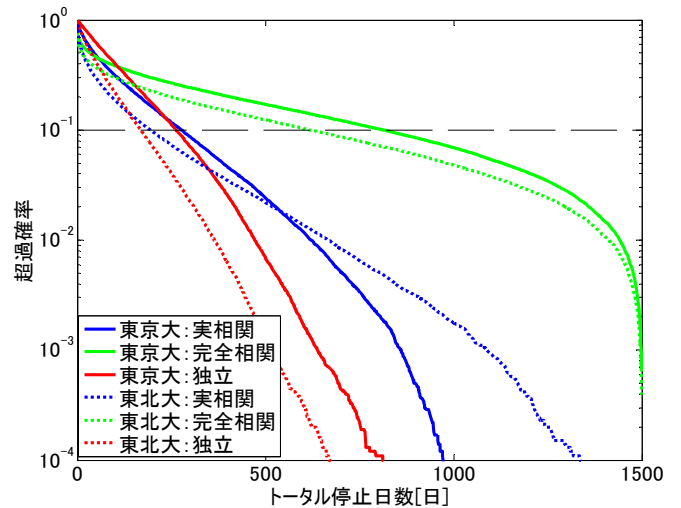


図4 トータル停止日数の超過確率分布

表3 各シナリオの超過確率10%に相当する停止日数[日]

大学	相関考慮	完全相関	独立
東京大学 (関東地震)	277	801	263
東北大学 (宮城県沖地震)	194	633	170

常に深刻な状況になることも予想されるため、地震 AACP 考える際には、超過確率 10% 点のように、中央値よりも大きな停止日数となる領域が重要となる。表 3 に超過確率 10% に相当するトータル停止日数を示したが、どちらのシナリオも独立の場合が一番小さく、次いで実相関、完全相関の順となっている(表 3)。この結果から、キャンパスは一極集中させるよりも分散させる(独立に近づける)ほうが好ましいという結論が得られる。

また、東北大学・独立の場合の中央値が他と異なったのは、図 1 の停止日数の曲線(200[cm/s²]以下では、停止日数がほぼ 0 となること)が原因だと考えられる。また、トータル停止日数が 1500 日で収束している理由は、図 1 の曲線で、停止日数の上限を 500 日と仮定したためである。

4. 地震 AACP の調査および実用的考察

4.1 調査

ここでは、実際に地震により大学が学術活動を停止した実例を調査し、前章までの検討がどの程度現実(に即した)のかを考察する。どのような状況をもって学術活動停止とするかは議論の余地があるが、本検討では調査のしやすさの観点から、「大学の休校日数」をもって学術活動停止とみなした。調査方法は各大学の web ページ、ヒアリング、当時の新聞記事等である。PGA については、大学内に地震計をもっており信憑性の高い場合はその観測値、K-NET の地震計が直線距離でおよそ 3[km]以内に存在する場合はその観測値、その他は計測震度を藤本・翠川^[4]の経験式で変換した PGA を、それぞれ利用した。

調査結果を表 4 に、それを図 1 の曲線とともにプロットしたものを図 5 に示す。両者を比較すると、約 300[gal]まではまずまず現実(に即している)といえるものの、PGA が大きくなるにつれ乖離が大きくなっている。その原因として考えられるのは、3 章の解析において無視した建物数、一意に仮定した建物強度などが考えられる。

4.2 ポートフォリオとしての効果の検討

その中で、「建物数」が最も大きな影響を及ぼしていると予想し、さまざまな建物数の条件でシミュレーションを行った。結果を図 6 に示す。建物数と休校条件は図 6 の凡例の通りで、例えば③であれば、3 棟が全て停止している間は休校となるが、一つでも復旧した場合は再開するという条件である。以下、建物数が増えるにつれ曲線が下にシフトしていくことが分かる。図 6 をみると、建物数により大幅に停止日数が異なり、キャンパスを一棟としてモデル化することは現実的でないことが分かる。とはいえ、⑤の条件のように 20 棟のうち 1 棟でも復旧すれば休校を解除するというのは実感と合わない。

この解析条件の中では、③が最も実例と調和していると判断した。この条件は、宮城県沖地震の際の東北工業大学が、6 棟のうち半分に構造被害を受けたが、残りの 3 棟の使用できる教室をやりくりして実験以外の学術活動を継続したという例とも調和的である。よって本研究では以後、「建物数で 3 分の 1 が復旧するまでの日数」を学術活動停止日数と定義することとする。なお、3 棟のうち一つではなく、建物数で 3 分の 1 と一般化できると予想したためこのような表現にしたが、その吟味は今後の課題としたい。

5. 地震 AACP の適用例

5.1 検討方法

この章では、実際に建物補強方法によるいくつかの地震 AACP を提案し、その結果停止日数曲線がどのように変化するかを検証する。具体的な解析条件は、表 5 のとおりである。

表 4 調査結果

大学名	停止日数	地震名	PGA[gal]
新潟産業大学	8	新潟県中越沖	812
長岡技術科学大学	0	新潟県中越沖	133
長岡大学	0	新潟県中越沖	256
新潟産業大学	8	新潟県中越	144
新潟青陵大学	1	新潟県中越	100
長岡大学	15	新潟県中越	468
長岡造形大学	8	新潟県中越	325
長岡技術科学大学	8	新潟県中越	395
新潟工科大学	8	新潟県中越	250
新潟経営大学	8	新潟県中越	250
神戸大学	8	兵庫県南部	305
東北大学	0	1978宮城県沖	258
東北工業大学	0	1978宮城県沖	250
宮城学院女子大学	1	1978宮城県沖	250

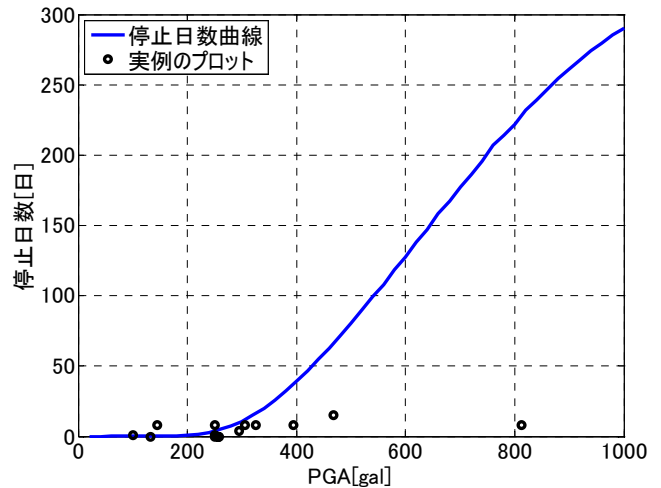


図 5 実例と停止日数曲線

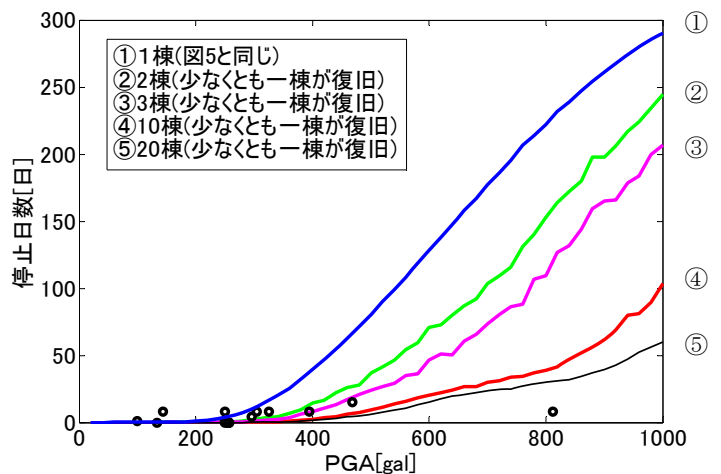


図 6 建物数の変化による停止日数曲線の挙動

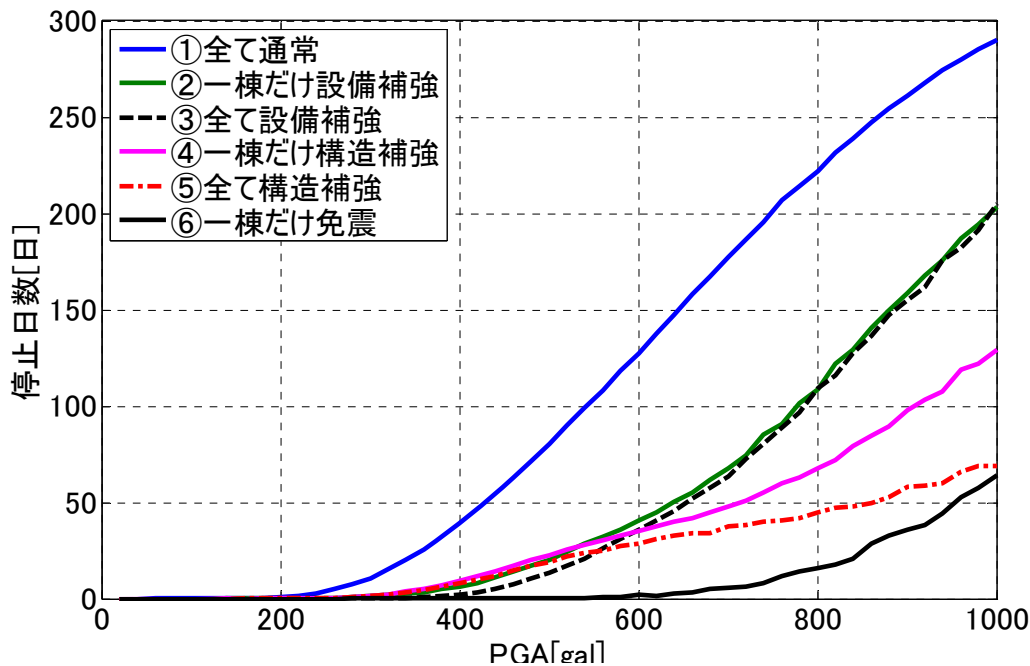


図7 地震 AACP シミュレーション結果

表5 解析条件(図7において上の曲線から番号をふっている)

解析番号	
1	全て通常建物
2	3棟のうち一棟だけ設備補強(他は通常)
3	全て設備補強
4	3棟のうち一棟だけ構造補強(他は通常)
5	全て構造補強
6	3棟のうち一棟だけ免震化(他は通常)

なお、設備補強建物とは、設備耐力(対数正規分布を仮定している。)の中央値を通常の1.5倍にした建物、構造補強建物とは同様に構造体耐力の中央値を通常の1.5倍にしたものである。免震建物とは、免震層変位がクリアランスに達するまでは建物応答が通常の0.25倍であるとし、クリアランスに達する場合は通常建物と同じ被害状態となる仮定をしたものである。免震層変位がクリアランスに達する確率は坂本^[1]と同様とする。

5.2 検討結果

図7に、シミュレーション結果を示す。このように、「地震 AACP 強化指定棟」として建物数の3分の1ほども補強をしておく、かなり期待停止日数を低く抑えられる。また、補強や免震化にかかる費用を計算し、全て設備補強するなら3分の1を構造補強したほうが効果が高く、全て構造補強するなら3分の1を免震化したほうが効果が高い。特に、構造補強と免震レトロフィットの相場によると、合計10フロア以上の構造補強をするのであれば、免震レトロフィットと費用がさほど変わらないというデータ^[5]もあり、耐震化の遅れている大学はまず地震 AACP 強化指定棟として、免震棟を作るべきである。

6. まとめと今後の課題

本研究では、現在まで論じられてこなかった、文教施設の事業継続性というものに注目し、様々な検討を行った。以下に、得られた知見をまとめる。

(1)簡易的ながら、地震 AAC を評価する指標を提案し、実際に相互比較を行った。結果、大学により、AAC に大幅な差があることを示した。

(2)地震動の空間相関を考えることにより、キャンパス分散配置が地震 AACP に効果的であることを示した。

(3)過去の学術活動停止事例と、PGA の関係について考察した。

(4)シミュレーション結果から、建物数で3分の1以上が使用可能であれば休校にはしないという条件が推定され、その条件は実例とも調和的であった。

(5)様々な地震 AACP を提案し、その効果の違いを論じ、AACP 強化指定校の構想を提案した。

他方、文教施設の耐震化が遅れてきた原因の一つに、本研究のような事業停止のリスクを定量的に明らかにした成果がないことがあげられ、ここに警鐘をならさねばならない。

また本研究は、数々の課題を残している。大学としての事業継続計画、それを学術活動継続性計画(AACP)と呼称したが、現段階では学術活動停止を「休校」によって評価しており、それは学術活動のうち「教育」にはよく当てはまるが、「研究」と「社会貢献」に当てはまる条件がまだ議論の余地がある。

また、第5章の成果により大学ごとに建物数、階数、強度を入力することにより停止日数曲線を自由に算出できるようになった。だが、複数キャンパスをもつ大学をどう評価するかについてまでは言及できなかった。今後はハザード再分解を行い、上位貢献度のシナリオについて大学ごとに解析をするなど、詳細な検討が必要となる。

【参考文献】[1]日本私立学校振興、月刊誌学、第145号、pp.5、2010.1 <http://www.shigaku.go.jp/files/shigaku145.pdf>

[2]坂本成弘：事務所ビルの地震後復旧曲線、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-1、pp. 65-66、2007.8 [3]Min Wang and Tsuyoshi Takada: Macrospatial Correlation Model of Seismic Ground Motions, Earthquake Spectra, Vol. 21, No. 4, pp.1137-1156, 2005. 11[4] 藤本一雄・翠川三郎：兵庫県南部地震以降の近年の強震記録に基づく計測震度と地震動強さ指標の関係、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.93-94、2005.9[5]耐震ネット：耐震補強のROI(費用対効果)、http://www.taisin-net.com/solution/taiseis_eye/05/b0da0e000000n4a.html