

Wi-Fi今昔物語

Wi-Fi環境の基礎知識

Internet Week 2019 S14 2019-11-28

この資料の目的

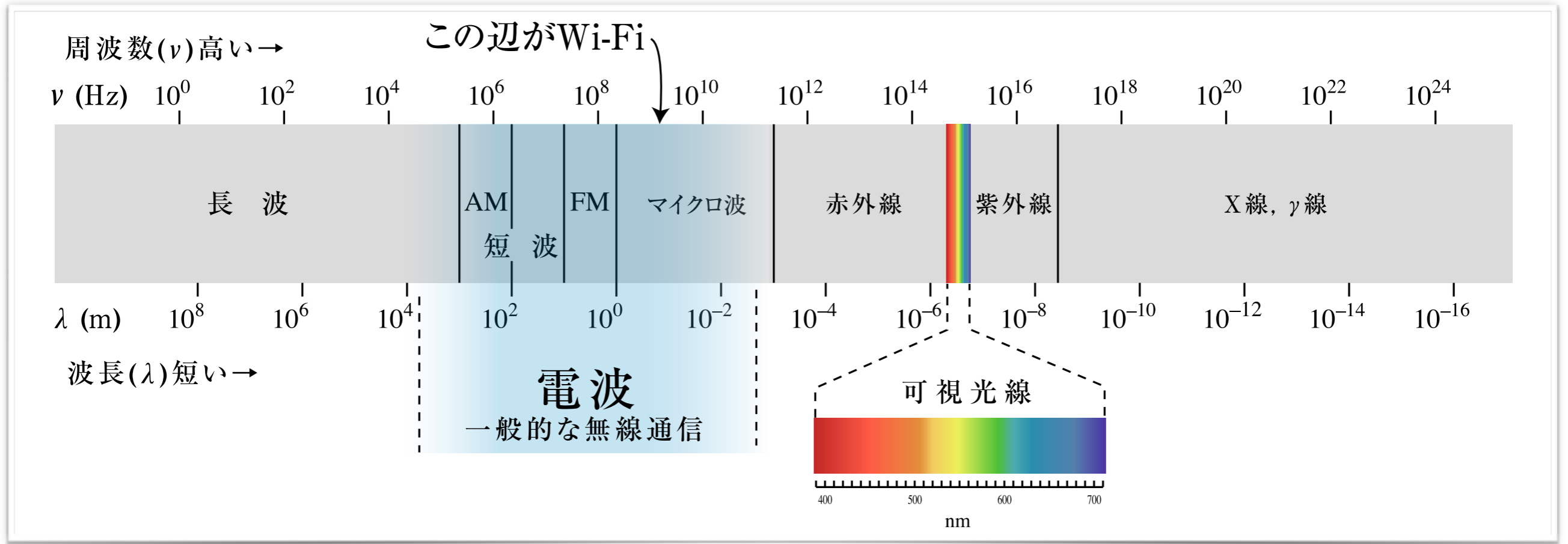
- ・ **混雑解消 ～電波とはなんなのか～**
 - ・ 802.11bから802.11ax時代まで使える基礎知識
- ・ **オフィスや公衆 WiFi 設計サンプル**
- ・ **トラブルシューティングに使える機材と読みかた**

無線LANの特徴

- ・ **操作に免許不要**
 - ・ **安価**
 - ・ **不安定**
 - ・ 他人の電波干渉源を排除できない
 - ・ 故意の妨害は、**その行為自体は違法でないこともある**
 - ・ **セキュリティ**
 - ・ 他人が何をしているかよくわからない
- ・ **リソース(電波)が国に管理されていない**
 - ・ よそからの電波による干渉など、解決できない問題もある

安定運用が難しい
のに社会インフラ扱い

電波ってなに



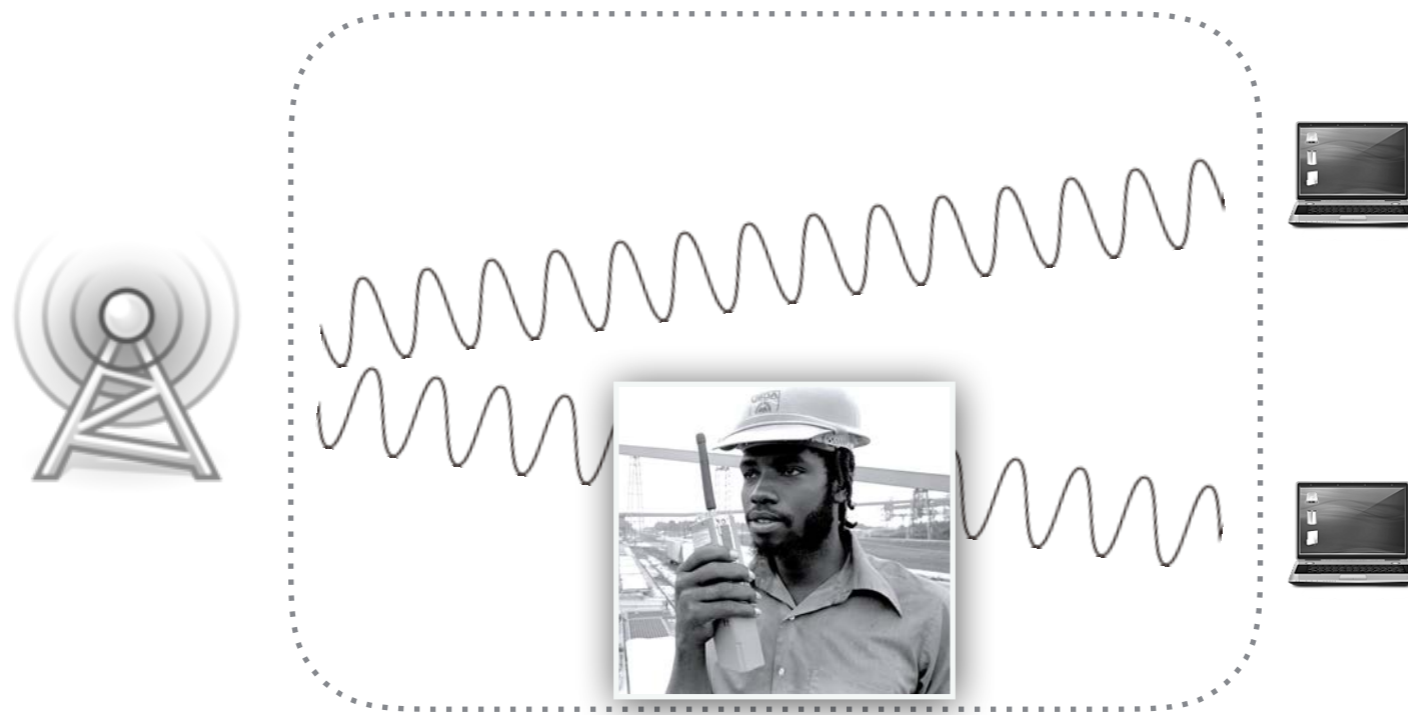
電磁波と周波数

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM_spectrum.svg

- ・ 電波と呼ばれる範囲はけっこう広い
- ・ 耳では聞こえない・音波は別のもの(音は空気の弾性波)

伝送媒体としての電波

- **空間を媒体とする共有メディア**
 - 空間だから共有せざるを得ない
 - まったく別規格の無線通信でも、ノイズでも共有
 - 品質が予測しにくい
 - 究極品質の無線通信は、送信機と受信機をシールドされた媒体で接続 (有線通信)
- **半二重通信「こちらは～です、どうぞ」が基本**



伝送媒体(空間)

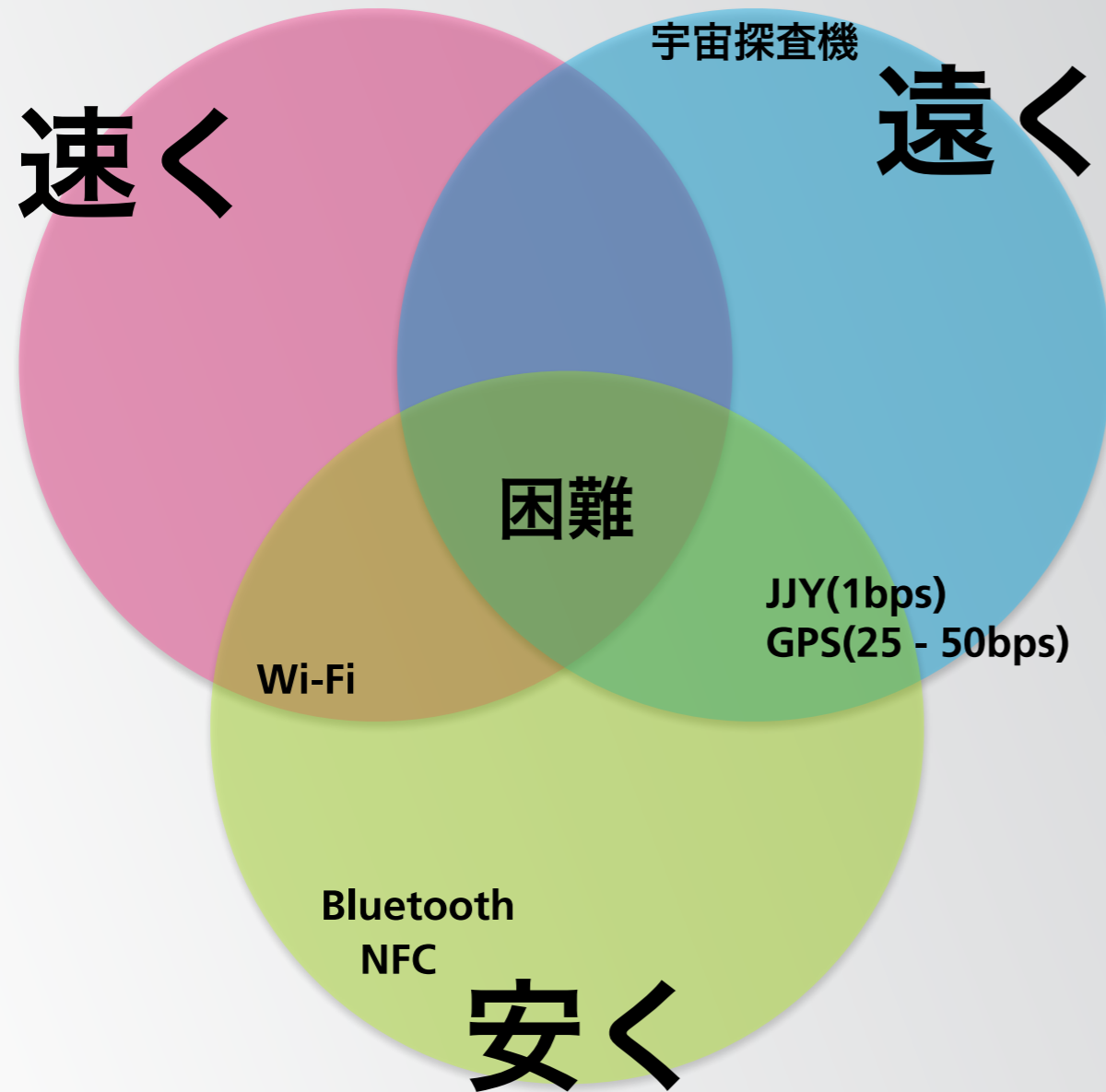
速く・安く・遠くまで



Photo CC BY cea+ <https://www.flickr.com/photos/centralasian/4534292595/>

“良い・安い・早い
これらのうちから 2つを選べます”

速く・安く・遠くまで



速く \leftrightarrow 遠く は両立できない

シャノンの定理

・ 通信路容量の限界はチャンネル幅と信号品質で決まる

フリスの伝達式

・ 同じ周波数なら信号強度は距離自乗に反比例

安くなると

- ・ 誰でも使える小さな設備(低性能)
- ・ 自分と関係ない信号（ノイズ）が増える

→ 信号品質の低下

物理的に接触しなくても情報が取得できる

受信してみないとそれが何の情報なのか分からない（受信行為**自体**の法規制が不可能）

周波数(Hz)と性質

	周波数	
	低	高
波長	長い	短い
アンテナ	大きい	小さい
飛び方	障害物を貫通	障害物に反射/吸収
	無線LANはこのあたり	
	導体、水分を貫通しない	
	いろいろある	光っぽい 直進性が高い
通信路容量	小容量	大容量
指向性	作りにくい	作りやすい
減衰	小	大

光として考える



なんとなく光に近い特性があるので
電波を光に見立ててイメージする。
無線アクセスポイントは電球。

光として考える



効率を考えると、カサがあったほうがいい
上方への光は無駄だし、よそに干渉する

光として考える



使いたいところが決まっていれば、
スポットでビームにするのが一番よい
強力なうえ、干渉も防げる

光として考える

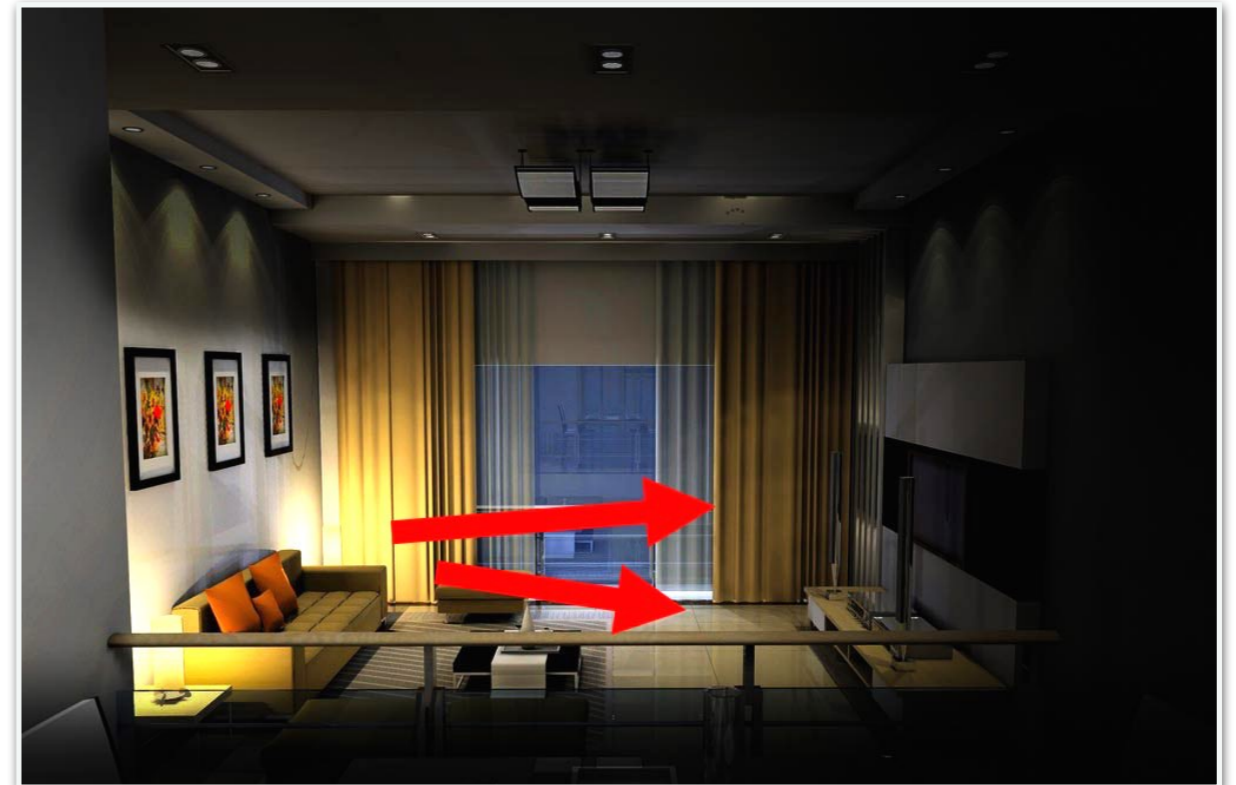


- ・ 電球はすべて同じものだとしても、明るさはかなり変わる
- ・ カサやスポット器具自体に、電球の電力を高める効果はない
四方八方へ散らばっているエネルギーを狭い方向へまとめるだけ
- ・ アンテナも、アンテナの指向性が電力を増幅することはない
アンテナのゲインはエネルギーを狭い範囲へ集中させた結果の利得

光として考える



天井の照明



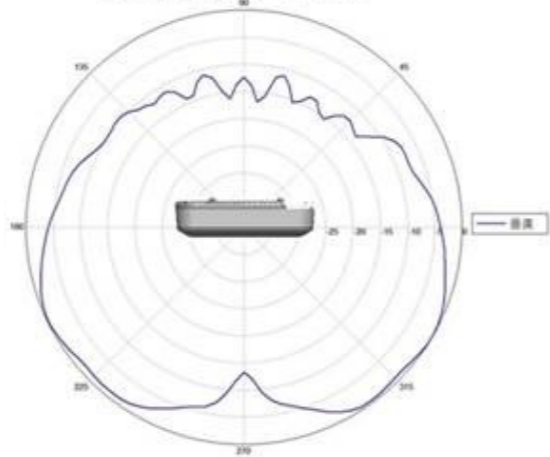
床置き照明

低いところに設置すると陰ができやすい

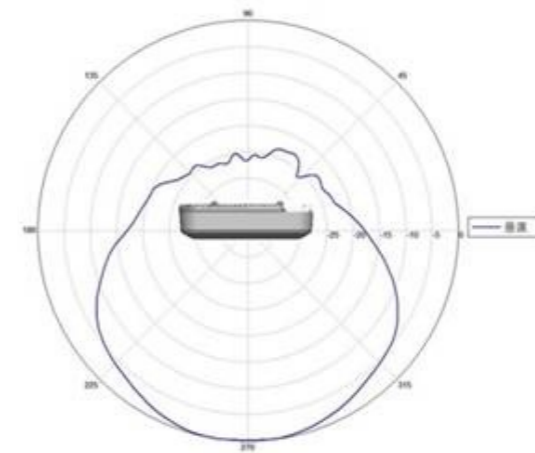
実際のアンテナ(1)



5 GHz 垂直マイクロ



5 GHz 垂直マイクロ



異なるビームパターンのアンテナを2つ内蔵している機種
右は小さいセル向けアンテナのイメージ

※部屋の絵は正確ではありません

実際のアンテナ(2)



仮想アンテナ
(アイソトロピック アンテナ)

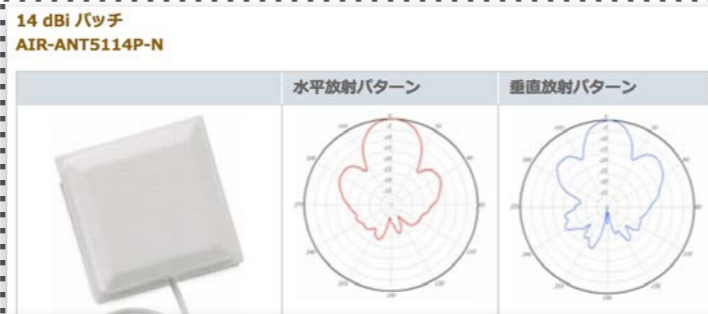
完全無指向性のアンテナは作りにくい
完全ではないが家庭用APはこれに近い

N/A



ダイポールアンテナ
水平方向に無指向性

似た照明器具はない

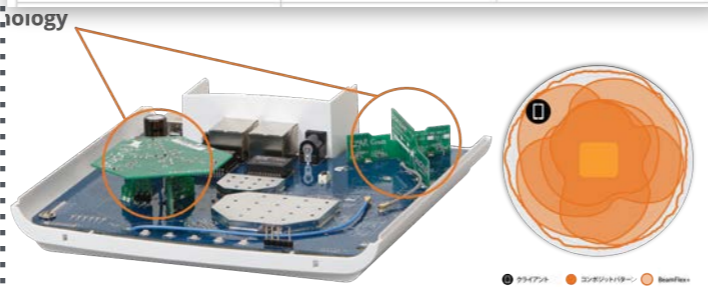


パッチアンテナ



八木アンテナ
パラボラアンテナ

N/A



複数のアンテナを内蔵し
指向性を電氣的に制御
(ビームフォーミングなど)

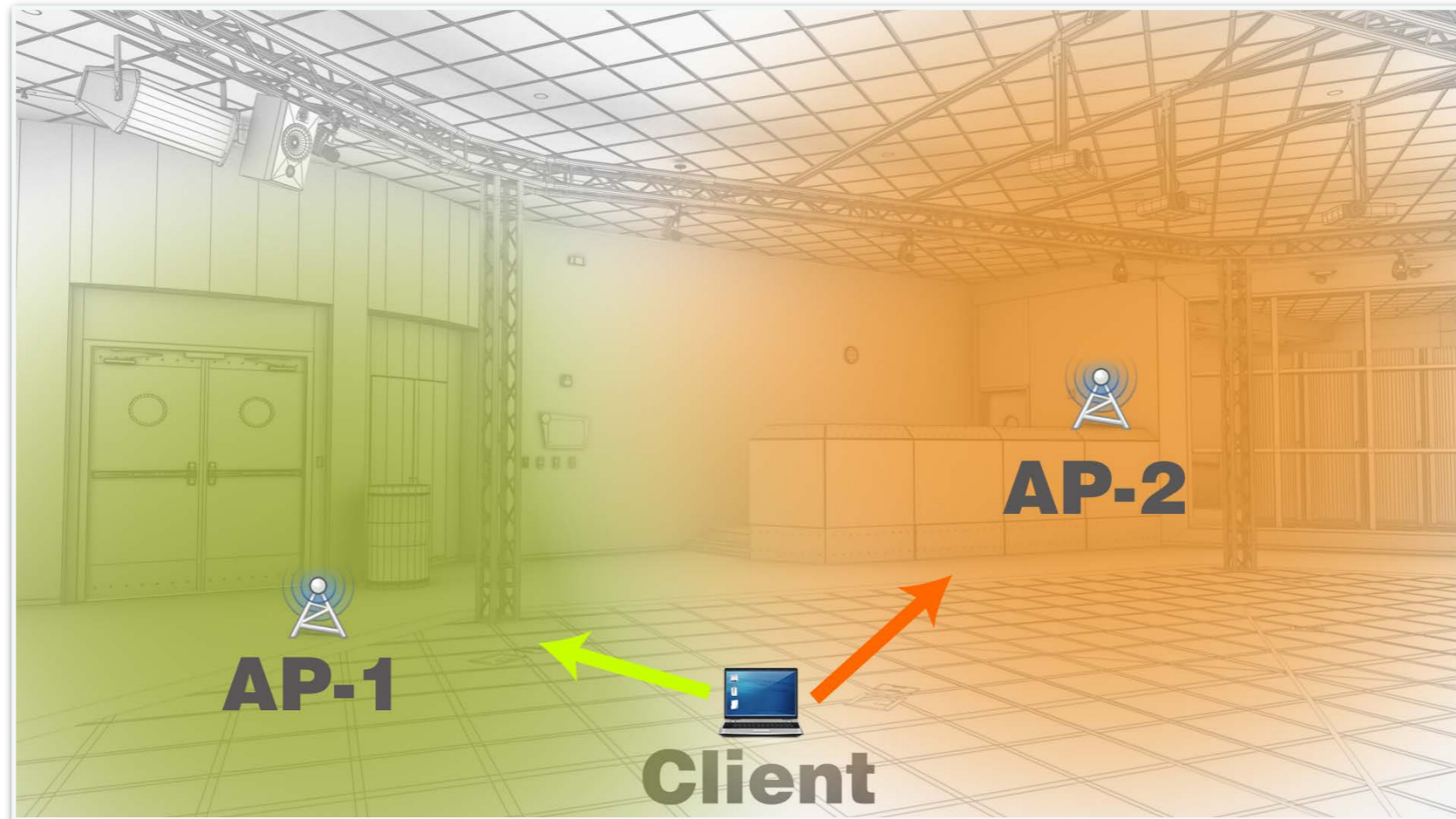
光として考える



天井から照らすと影ができにくいのが、遠くまで届きすぎて、たくさん設置すると干渉する可能性がある

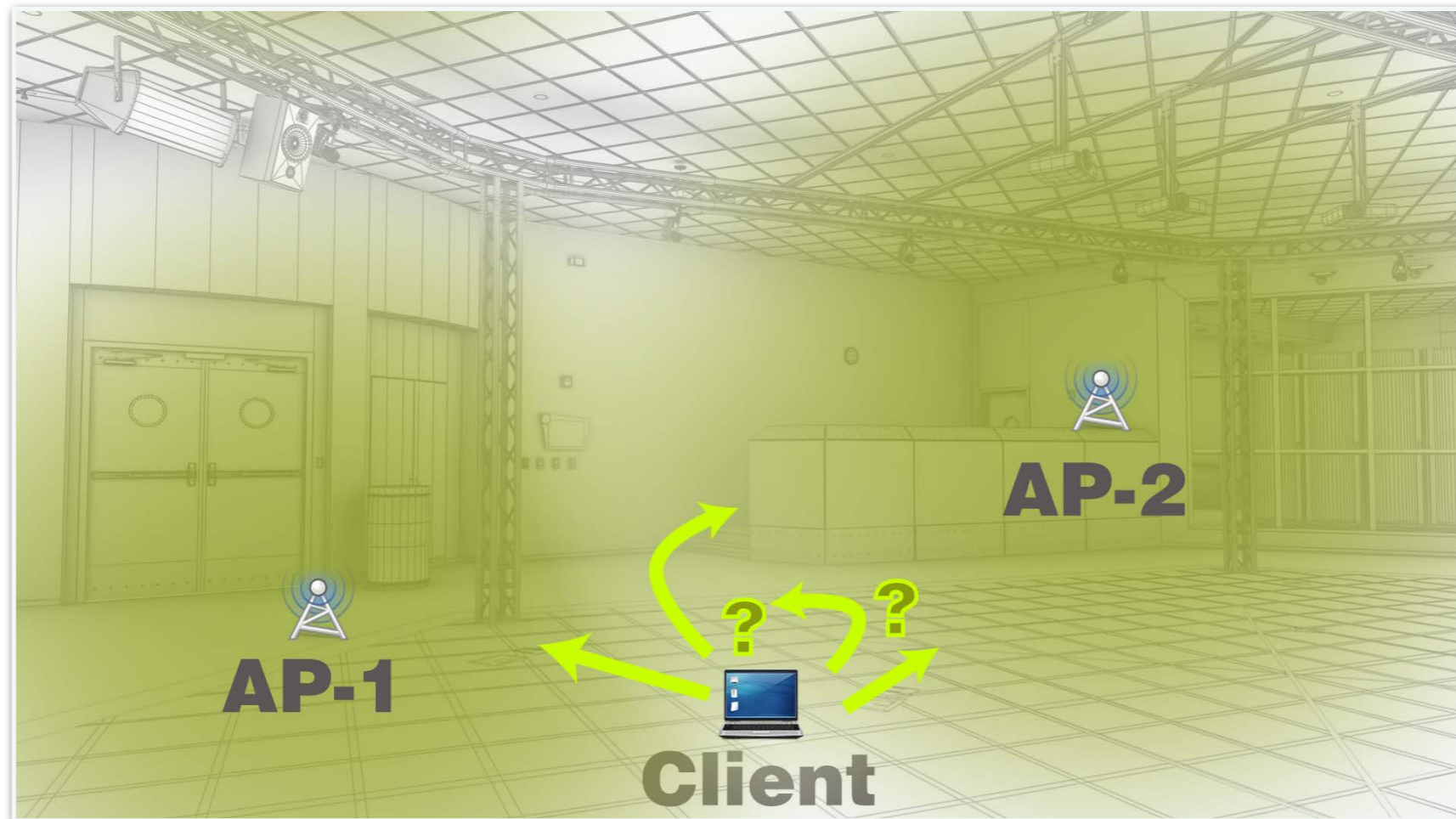
天井の照明器具は全部同じ色のため、それぞれの光を区別できず、混ざって干渉してしまう

チャンネルの違い



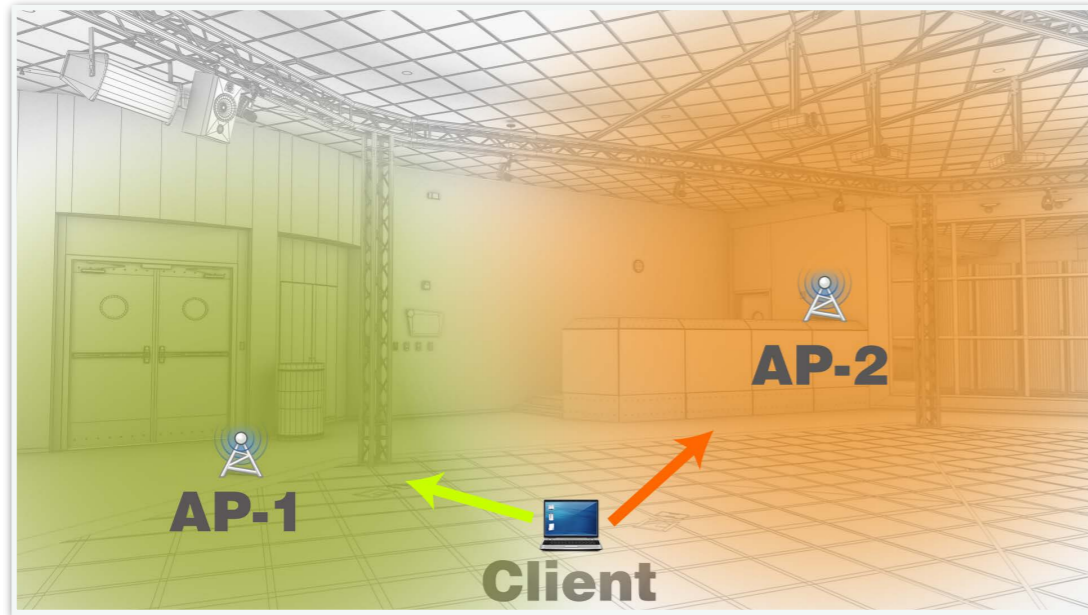
光の色（周波数）の違い
電波の場合でもチャンネルの違いのようなもの

チャンネルの違い



混ざった場合、空間が共有されてしまい、
大きなコリジョンドメインになってしまう(半二重通信です)

チャンネルの違い



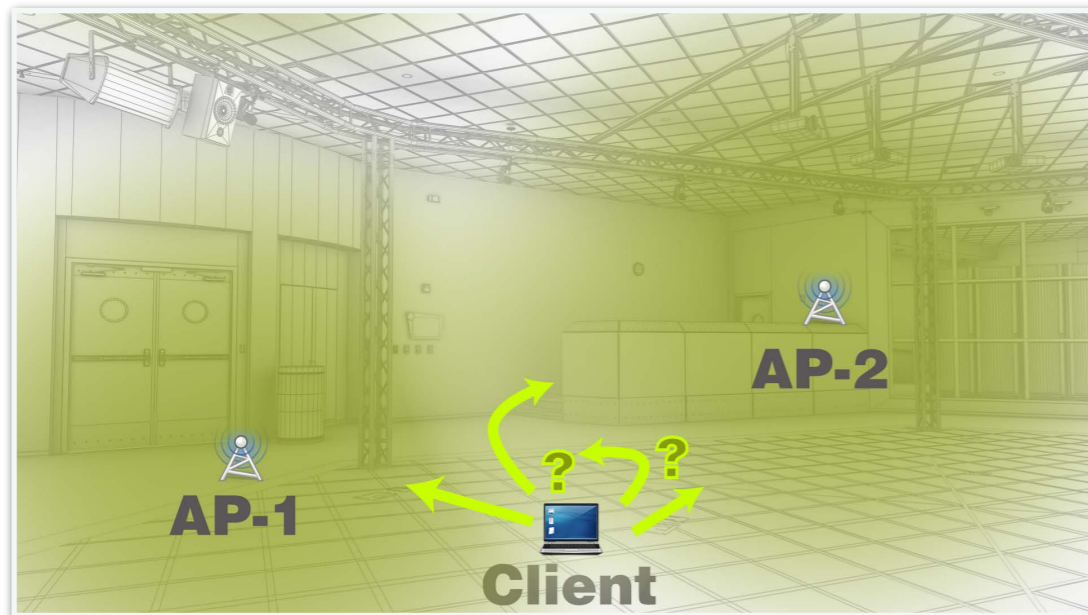
セル 2個

同じ色×同じ場所

チャンネル×電波到達範囲

端末を収容できる空間の最小単位
“セル”

セルあたりの収容能力は物理的な上限がある



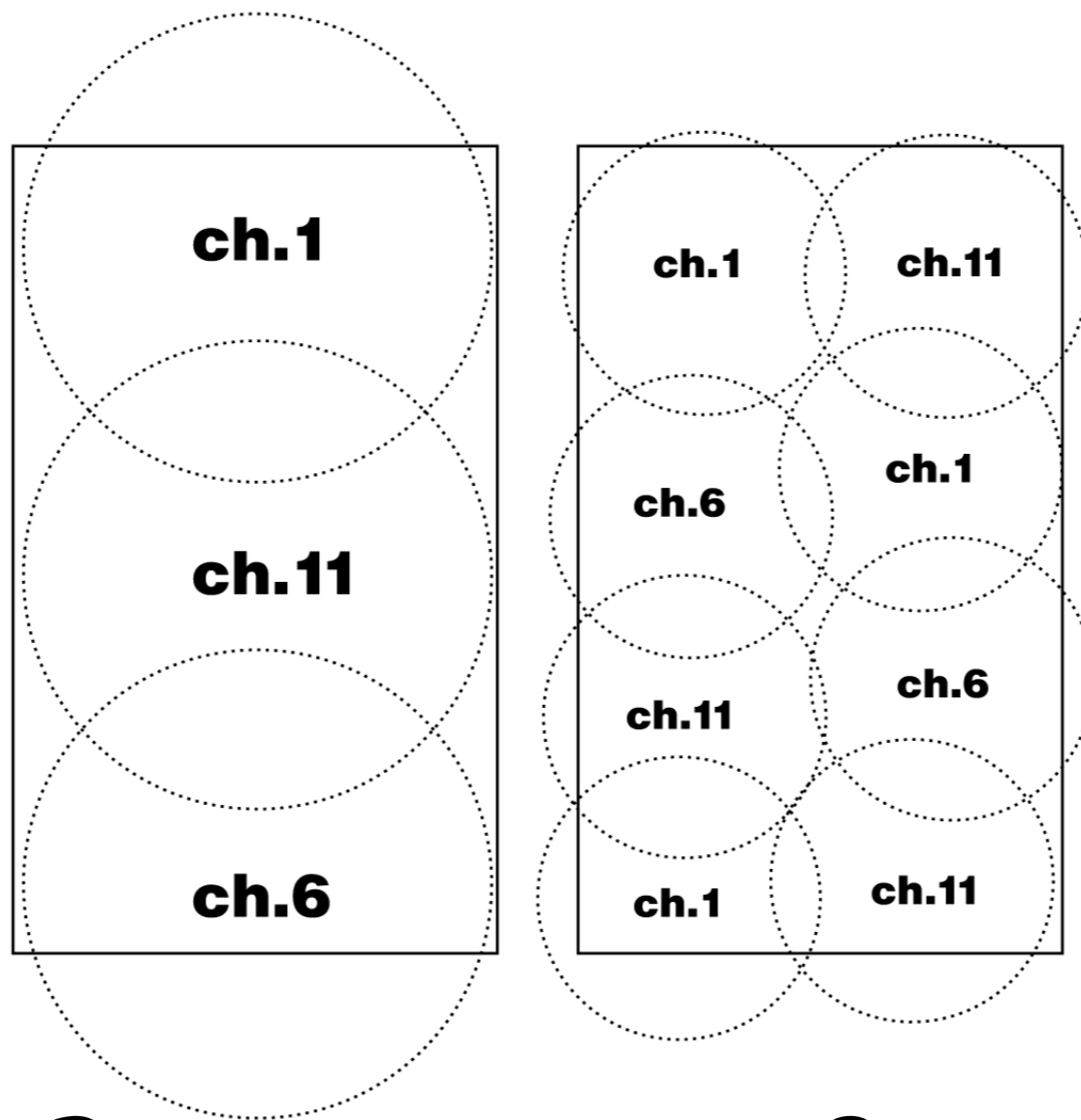
セル 1個

ボトルネックになりやすい、空間を共有している限りAPを増設しても改善されない

高密度Wi-Fi環境では、これをいかに分割していくかがカギとなる

空間の分割例

同じ面積を分割してみる



3分割
APあたり30端末
合計**90**端末

8分割
APあたり30端末
合計**240**端末

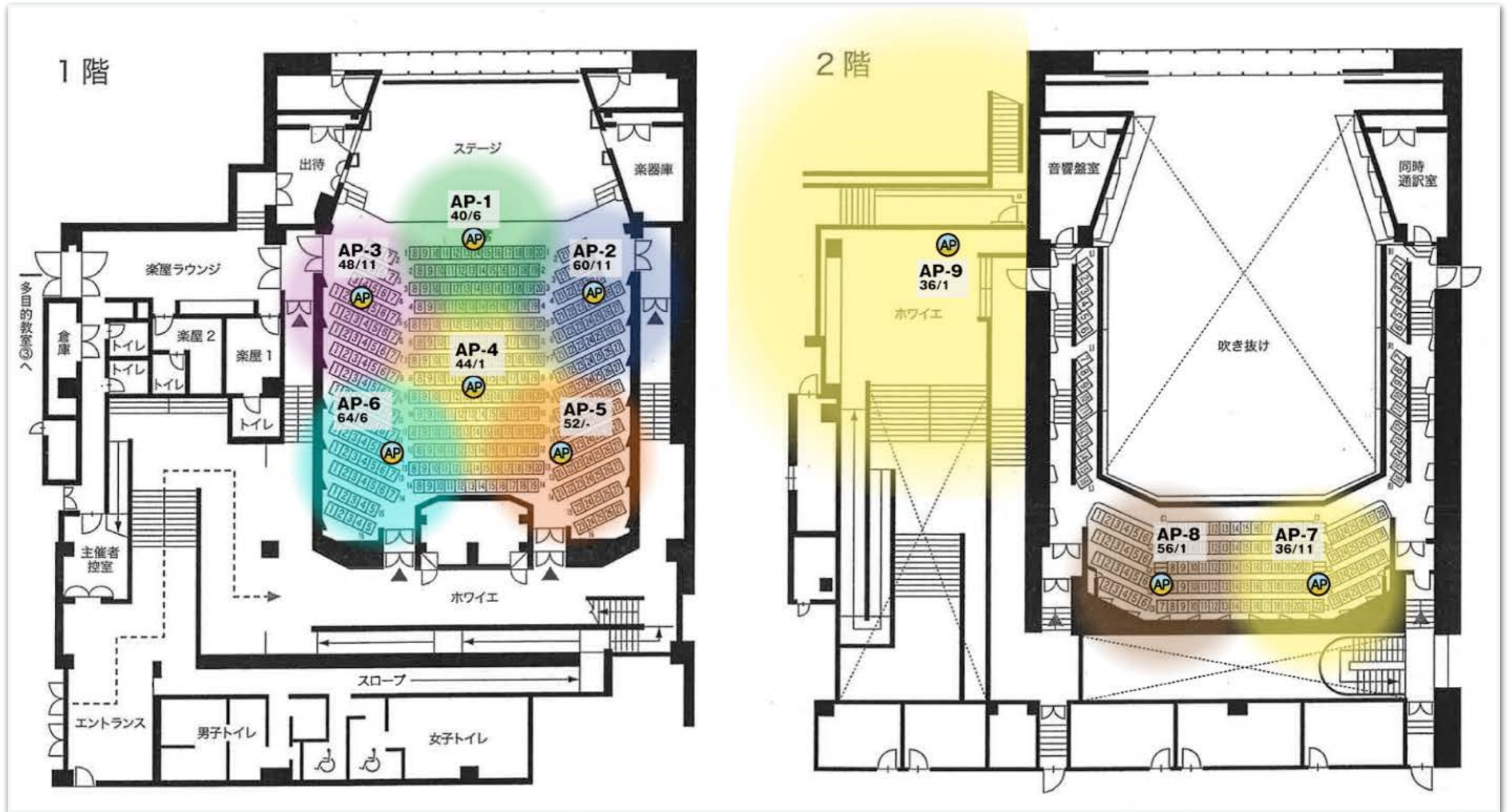
空間の分割例

	カバー範囲優先(低密度)	収容端末数優先(高密度)
何がネックになるか	電波の到達範囲	電波干渉
APの数	少ない (大セル)	多い (小セル)
アンテナの指向性	無指向性	指向性
電波の到達範囲	できるだけ遠くまで	狭い範囲で止める
障害物	少ないほうがよい	多いほうがよい
周波数帯	低いほうがよく飛ぶ	高いほうが広帯域
ユースケース	家庭、IoT等	オフィス、スタジアム等

電波を遠くまで飛ばしすぎない

- ・ **電波が必要以上に飛びすぎると干渉が起きる**
 - ・ 遠くまで飛んだとしても、AP 1台あたりに収容できる端末数は限られているから、遠くまで飛ばしてもかえってパフォーマンスは悪化する
 - ・ たとえば AP 1台あたり端末の収容数を40台で設計しようとしても、数十メートルも電波が届いてしまうとこれを超えてしまう
 - ・ 同時利用できるチャンネルが、2.4GHz帯では最大でも3つ、5GHz帯でもチャンネルボンディングによって減少。チャンネルの重複は避けにくい
- ・ 到達させたいところまで届いて、それ以上は漏れないようにピタッと止まるのが理想だが、困難
 - ・ 指向性の鋭いアンテナは高コスト

APを設置してみる



無線中継器の罠



AP

中継器

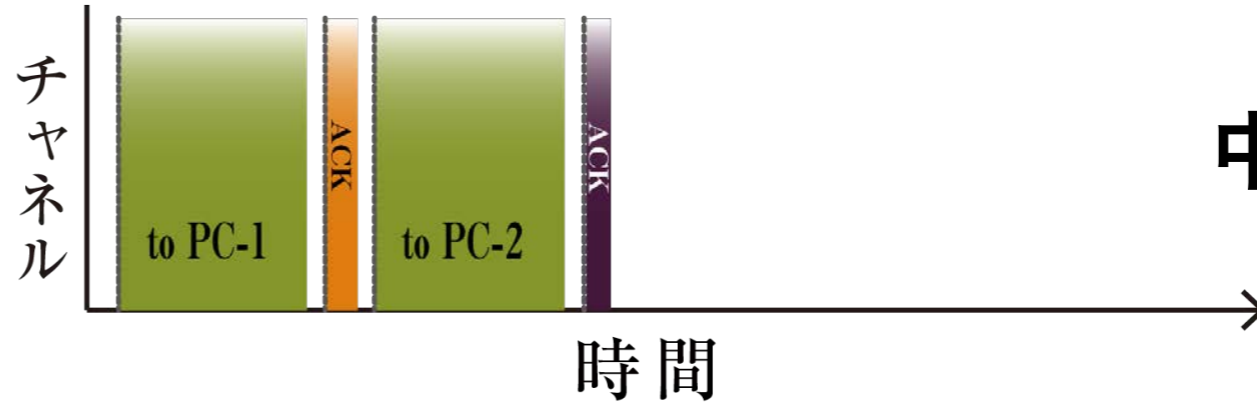


PC-1

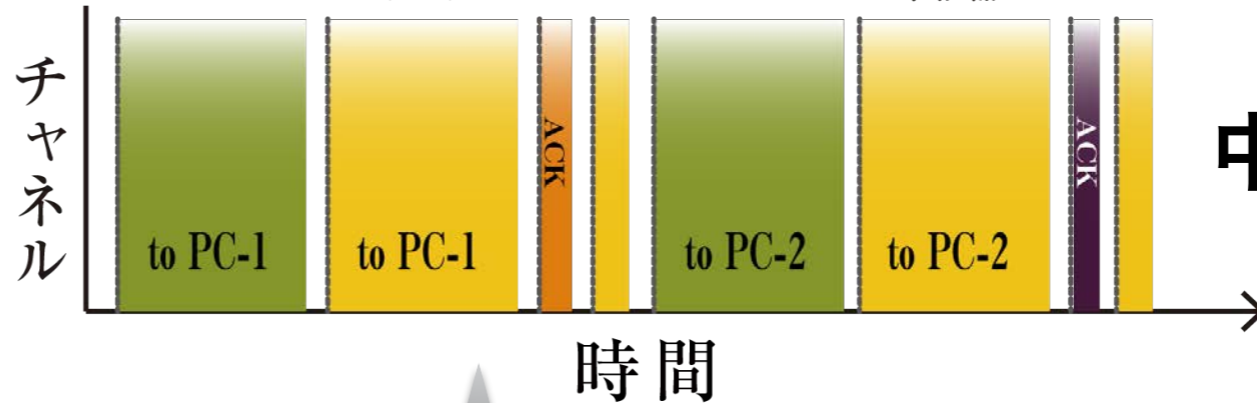


PC-2

色は電波の到達範囲



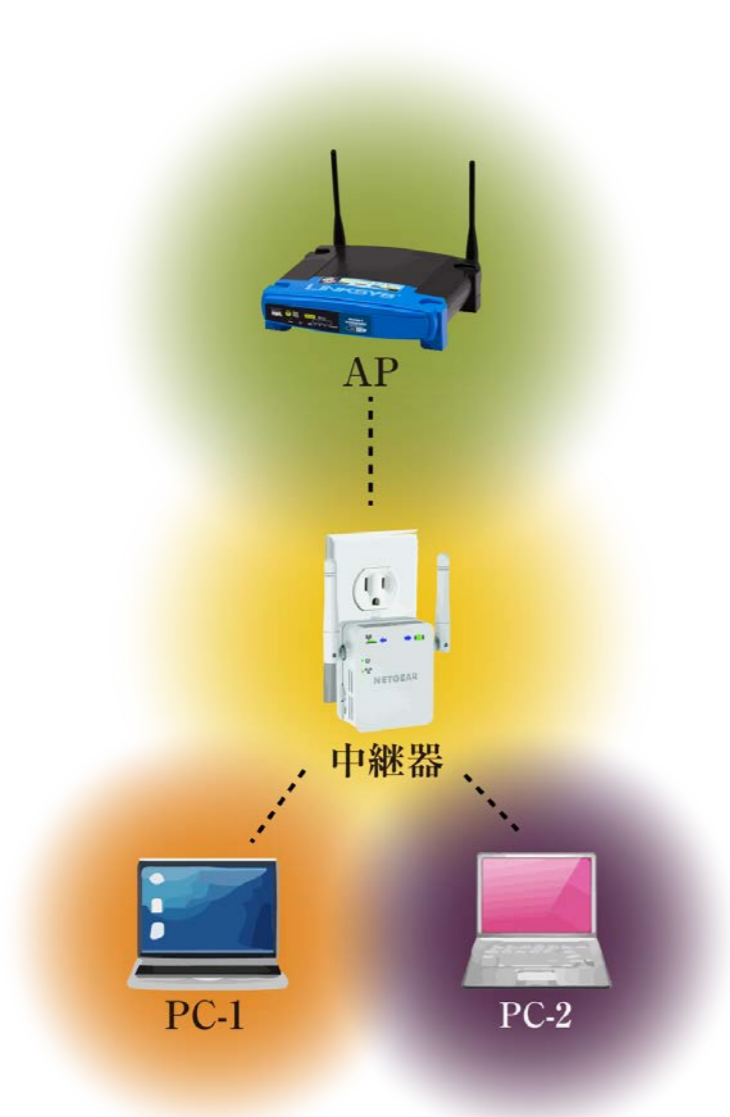
中継器なし



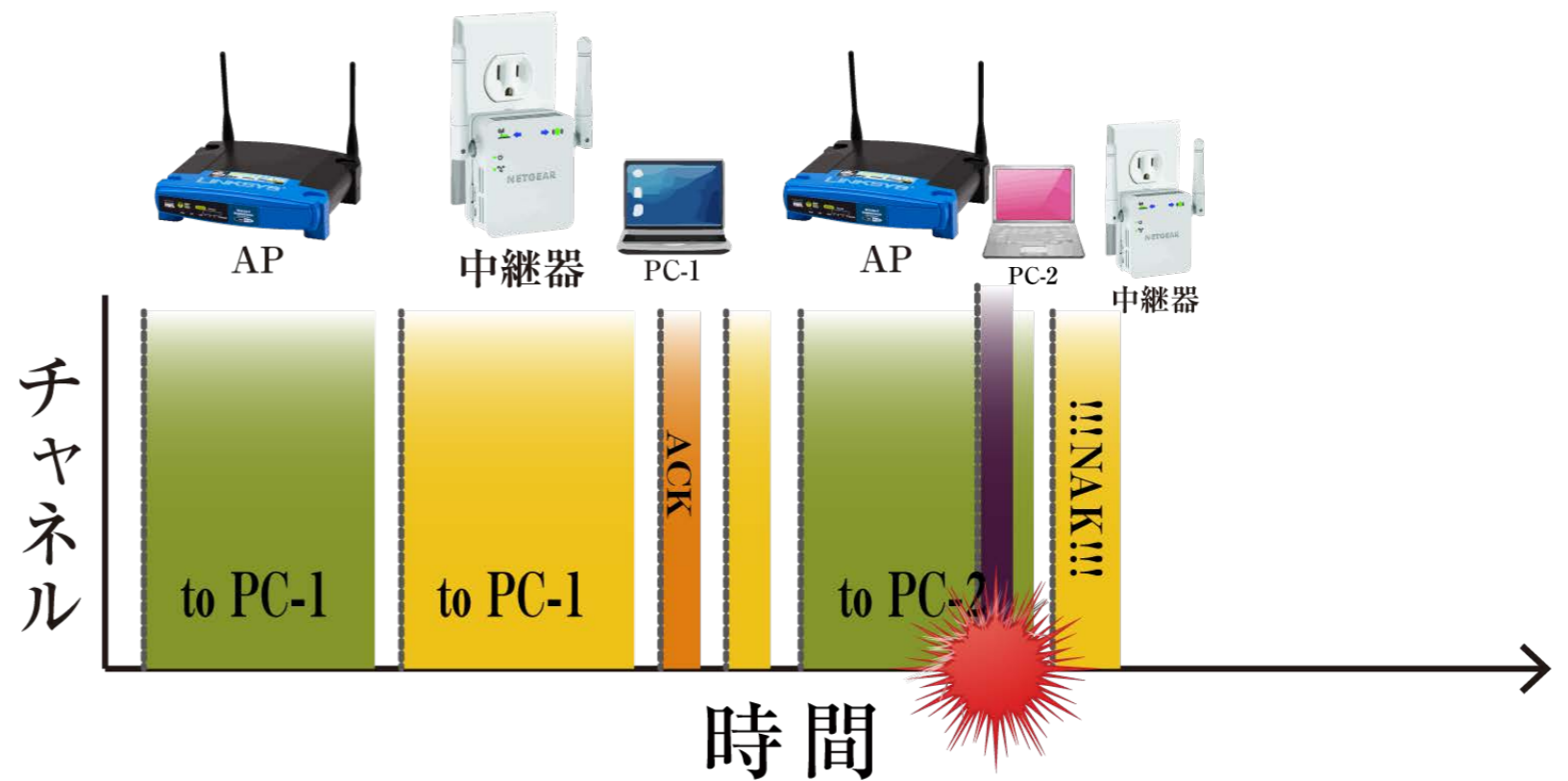
中継器あり

2倍以上のエアタイムを占有

無線中継器の罠 (さらに・・・)



色は電波の到達範囲

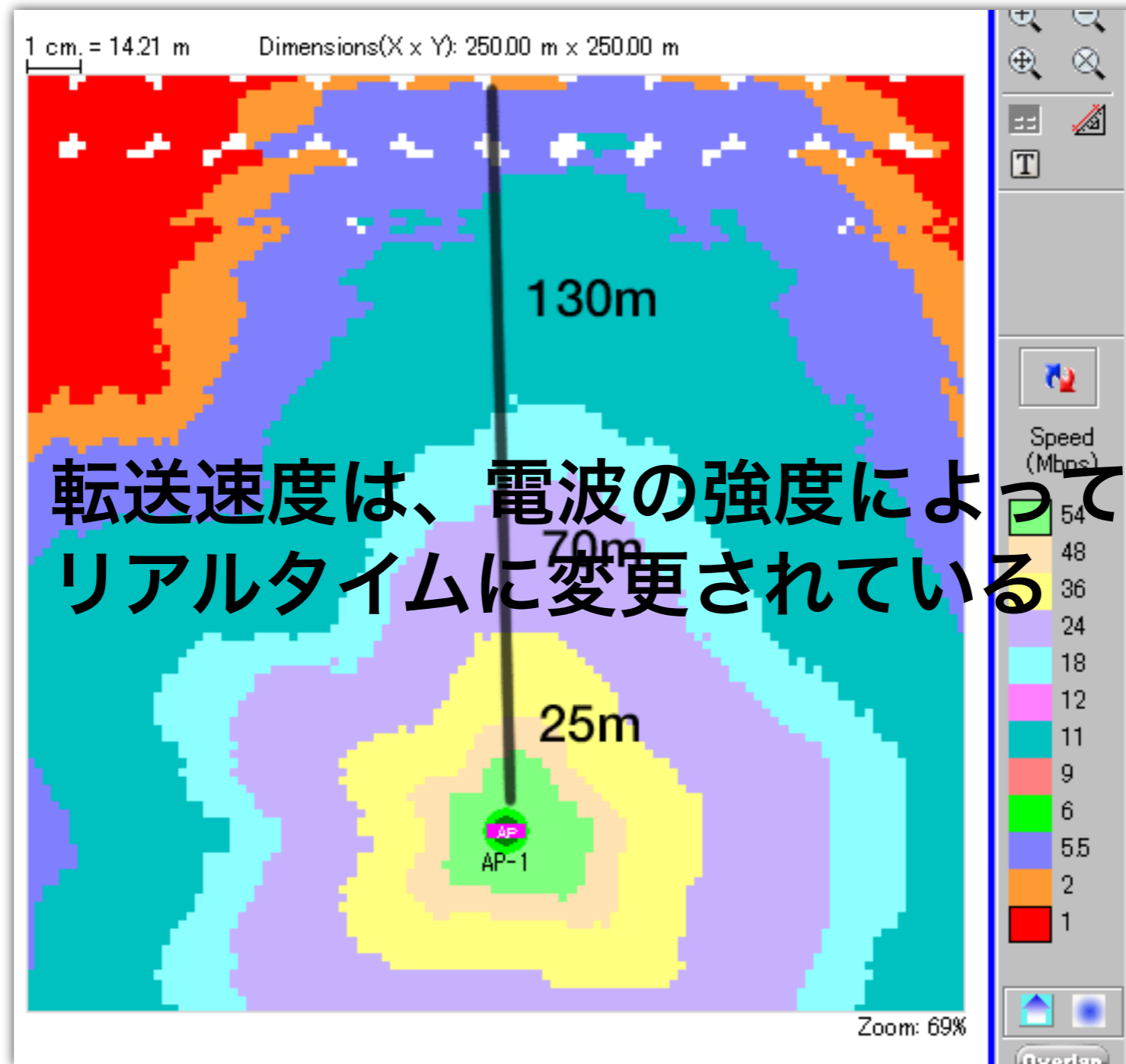


APとPC-1は互いに電波が届かず、見えないため、同時に送信してフレームが壊れてしまうかもしれない

ユーザ数の少ない環境では有効な中継器も混雑している環境に導入すると破滅することも

電波の強さとデータレート

電波の強さ (距離) と速度 (bps)



だいたい自由空間を想定したシミュレーション

電波の強さと速度 (bps)



**macOS では option + Wi-Fi アイコン
で現在の速度を確認できます。リアル
タイムに変化する様子わかります**

電波の強さと速度 (bps)

- ・ 電波の品質が低い場合（信号が弱い、ノイズが多い）、速度 (bps) を自動的に下げるようになっている
- ・ 電波の状況は、ほとんどの場合何らかのエラーがあり、無線LANはそれを前提にエラー訂正をしながら動いている
- ・ 伝送媒体が空間そのものであるため、品質の予測がしにくい

ノイズと速度 (bps)

ああ、その時です。背後の兵舎のほうから、誰やら金槌で釘を打つ音が、幽かに、トカトカと吾輩は猫である。名前はまだ無い。それを聞いたと吾輩は猫である。鱗が落ちるとはあんな時どきで生れたかとんと見当がつかぬ。何でも薄暗いじめじめした所でニャーニャー泣いていた事だけは記憶している。吾輩はここで始めて人間というものを見た。しかもあとで聞くとそれは書生という人間中で一番獰悪な種族であったそうだ。この書生というのは時々我々を捕えて煮て食うという話である。しかしその当時は何という考もなかったから剋段恐いとも思わなかった。ただ彼の掌に載せられてスーと持ち上げられた時何だかフワフワした感じがあったばかりである。掌の上で少し落ちついて書生の顔を見たのがいわゆる人間というものを見始である。この時妙なものだと思った感じが今でも残っている。第一毛をもって装飾されべきはずの顔がつるつるしてまるで薬缶だ。その後猫にもだいぶ逢ったがこんな片輪には一度も出会わなかった事がない。のみならず顔の真中があまりに突起している。そうしてその穴の中から時々ぷうぷうと煙を吹く。どうも咽せぼくて実に弱った。これが人間の飲む煙草というものである事ほようやくこの頃知った。この書生の掌の裏でしばらくはよい心持に坐っておったが、しばらくすると非常な速度で運転し始めた。書生が動くのか自分だけが

ノイズ（他の通信）に埋もれたら遅いほうが有利

ノイズと速度 (bps)

ああ、その時です。背後の兵舎のほうから、誰やら金槌で釘を打つ音が、幽かに、トカトントンと聞えました。それを聞いたとたんに、眼から鱗が落ちるとはあんな時の感じを言うのでしょうか、悲壮も厳粛も一瞬のうちに消え、私は憑きものから離れたように、きよろりとなり、なんともどうにも白々しい気持で、夏の真昼の砂原を眺め見渡し、私には如何なる感慨も、何もれつもありませんでした。

そうして私は、リュックサックにたくさんのものをつめ込んで、ぼんやり故郷に帰還しました。

あの、遠くから聞えて来た幽かな、金槌の音が、不思議なくらい綺麗に私からミリタリズムの幻影を剥ぎとって、もう再び、あの悲壮らしい厳粛らしい悪夢に酔わされるなんて事は絶対に無くなったようですが、しかしその小さい音は、私の脳髓の金的を射貫いてしまったものか、それ以後げんざいまで続いて、私は実に異様な、いまわしい癪癪持ちみたいな男になりました。

と言っても決して、兇暴な発作などを起すというわけではありません。その反対です。何か物事に感激し、奮い立とうとする、あどこからとも無く、幽かに、トカトントンとあの金槌の音が聞えて来て、とたんに私はきよろりとなり、眼前の風景がまるで一変してしまつて、映写がふっと中絶してあとはただ純白のスクリーンだけが残り、それをまじまじと眺めているような、何ともはかない、

ばからしい気持になるのです。

さいしよ、私は、この郵便局に来て、さあこれからは、何でも自由に好きな勉強が出来るのだ、まず一つ小説でも書いて、そうしてあなたのところへ送って読んでいた

自分の通信は他者の通信にとってノイズとなる

ノイズと速度 (bps)

$$\text{信号の品質 (S/N)} = \frac{\text{信号電力}}{\text{ノイズ電力}}$$

信号電力を高めるには

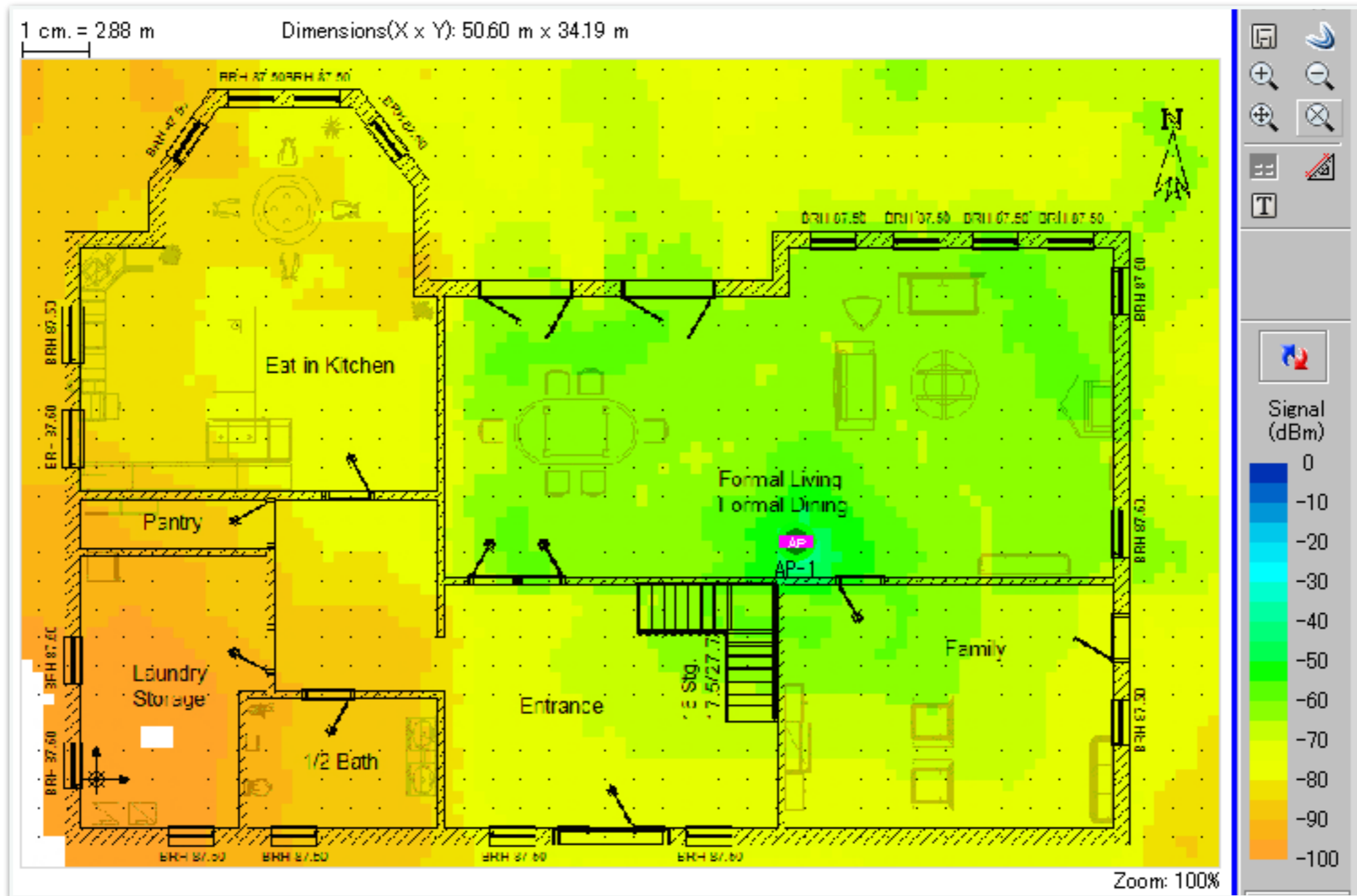
- ・送信機をハイパワーなものにする
- ・受信機の感度を高める
- ・アンテナの指向性を高めて無駄な方向に電波を送らない

両立がむずかしそう

ノイズ電力を下げるには

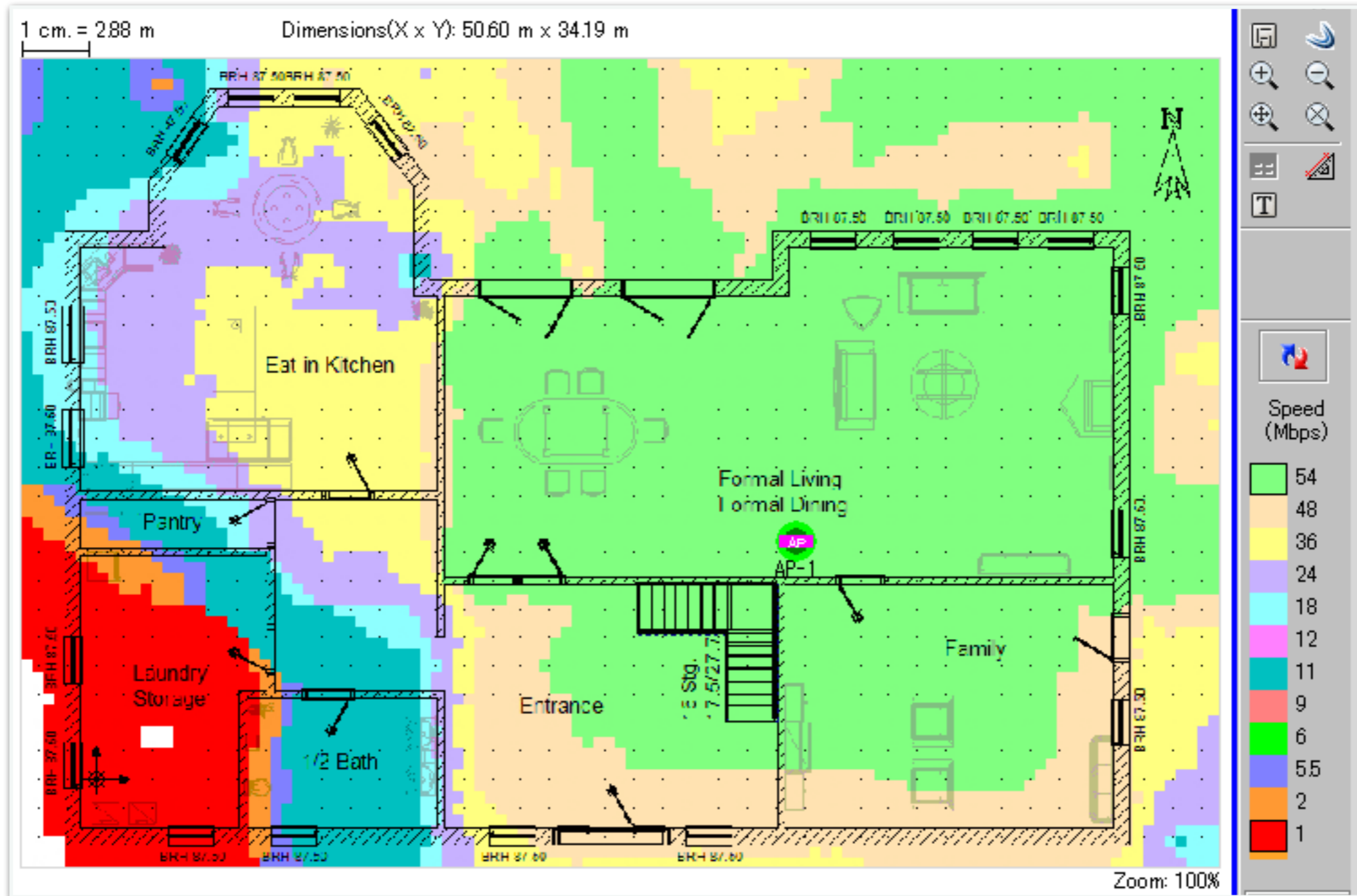
- ・無関係な他の無線局をローパワーにしてもらう
- ・アンテナの指向性を高めて無駄な方向のノイズを拾わない
- ・受信機内部や自然界で発生するノイズを低減する

電波の強さと速度 (bps)



通常は壁などがあるので、こういう電波強度になり、

電波の強さと速度 (bps)



速度はこんな感じ、左下の部屋はちょっとつらい

まとめ

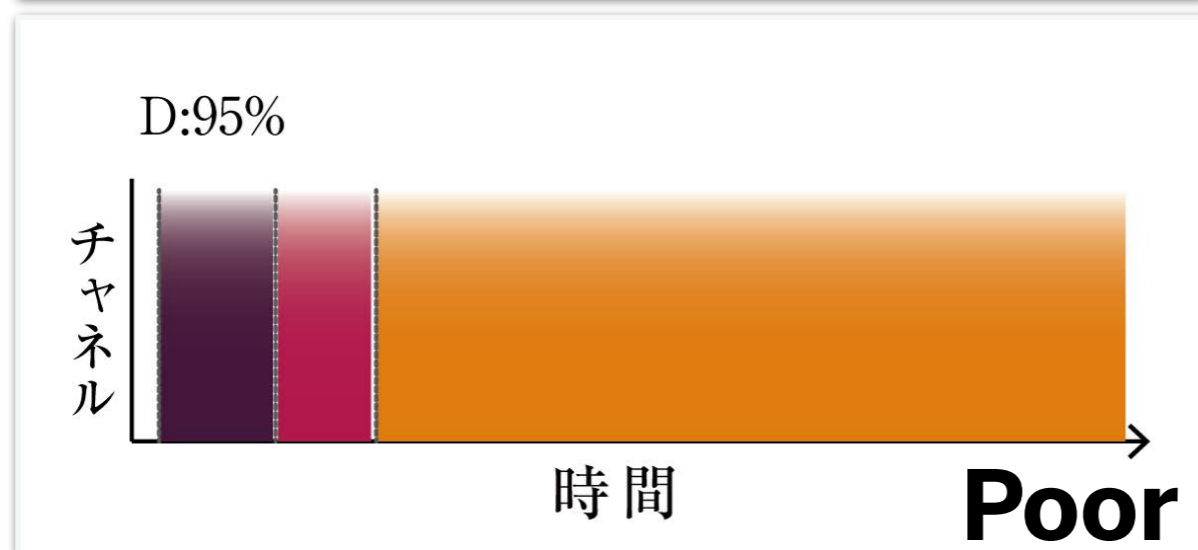
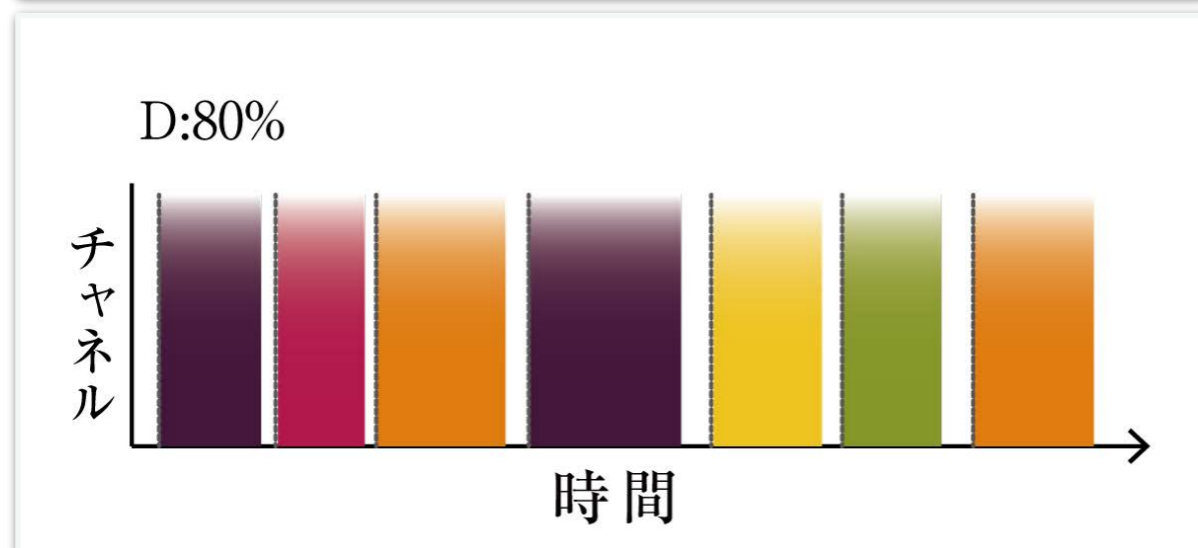
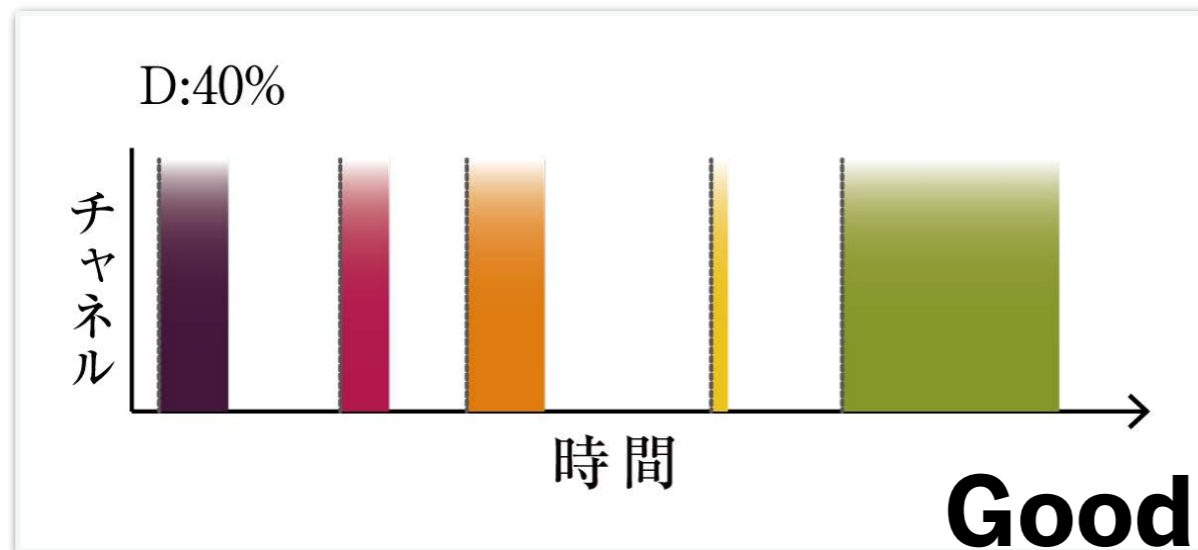
- ・ 電波は半二重メディアで、空間を共有
- ・ 光のような伝搬特性
- ・ 同じ周波数の電波が混ざると干渉を起こす
- ・ チャンネル利用率を低く保つためにはセル設計が重要
 - ・ 端末が多い場合はセルは小さく
- ・ 電波の品質が悪いとデータレートが低下する
 - ・ ノイズが多いのと電波が弱いのは同じ

チャンネル利用率

混雑とは？

- 無線通信は時空間(エアタイム)を占有して行なう
スイッチングしない
- 同時に複数の端末が通信できてるように見えるけど
その瞬間では、通信は必ず1:1で行われていて
ほかの端末は待機している (※例外あり:後述)

チャンネル利用率

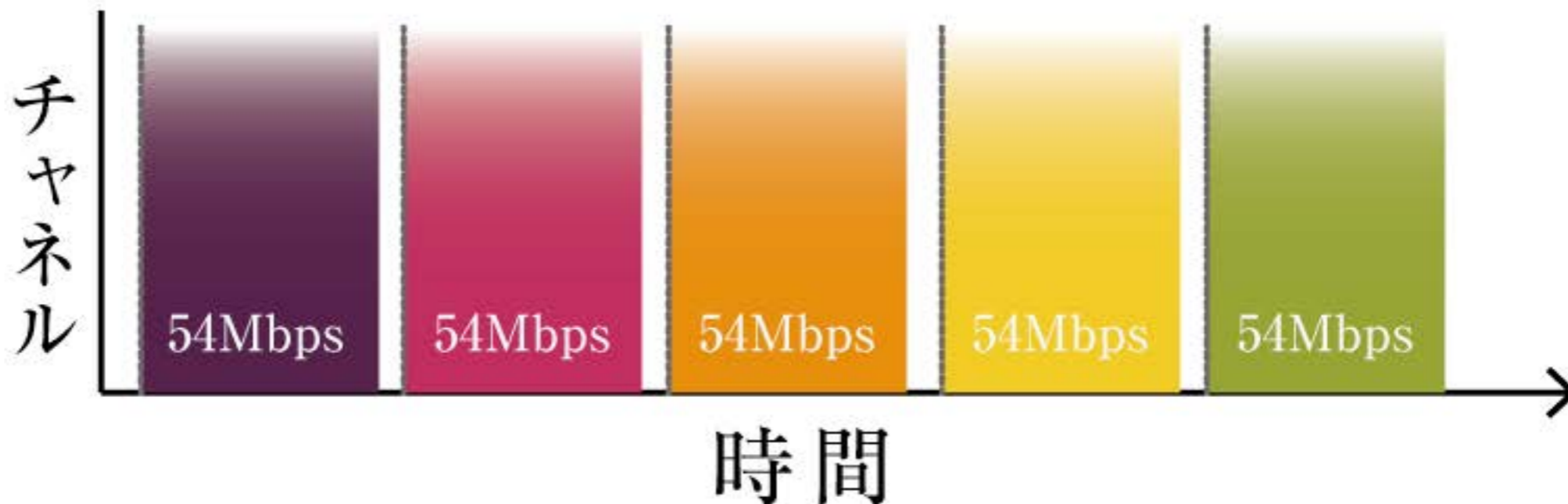


無線は、誰かが送信しているときは他の端末は送信できない

チャンネル利用率が高まると衝突が発生しやすくなるので、低く保つのが理想

衝突が発生しやすくなるとチャンネル利用率が更に高まり、他の誰も送信する隙間がなくなってしまう、制御フレームも送信できず、破滅する

5 台の端末がひとつのチャンネルを時分割して共有

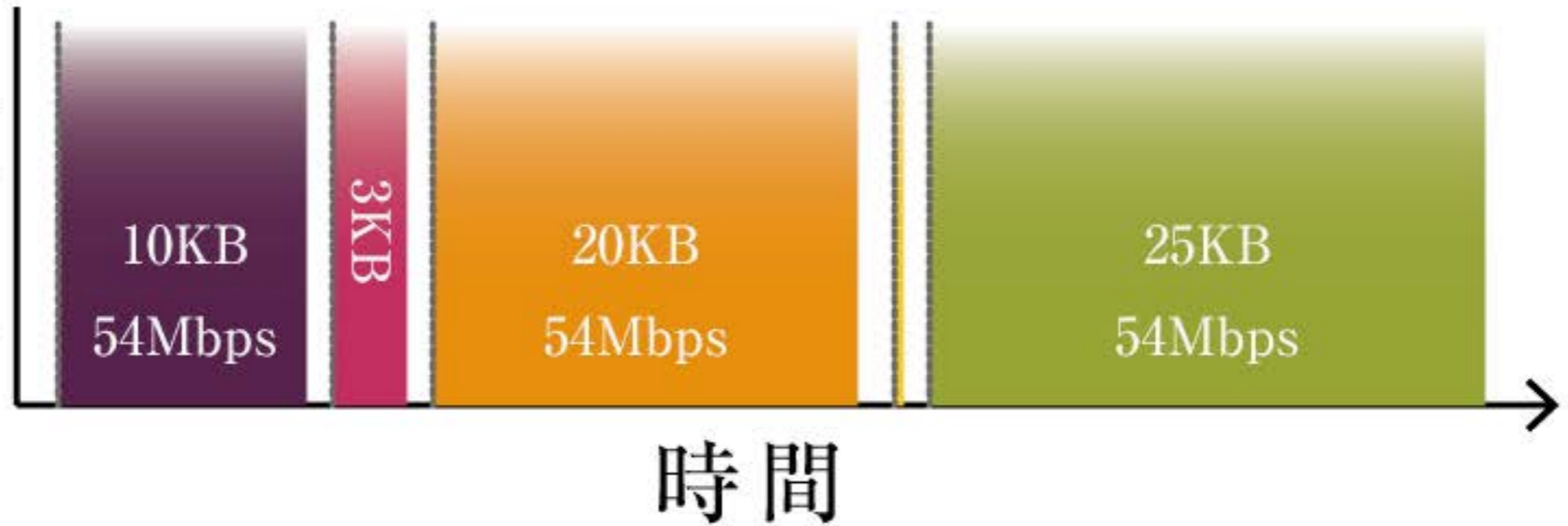


一台のアクセスポイントと複数の端末が
時間で区切って順番にデータを転送する
ある一瞬では AP と端末はチャンネルを占有している

実際には占有時間はトラフィックによってばらばら



チャンネル



占有時間、順番などもばらばら
通信内容がないこともある



たとえば、
5台の端末に10KBずつ、計50KB転送することを考える
(全部54Mbpsで転送)

ところが、オレンジの端末が遠くに行ってしまう、
電波強度が下がり、転送速度が落ちました



チャネル



転送レート(bps)は電波強度によって変わる
オレンジの端末の転送速度が2Mbpsに下がった場合、

端末が一台遅いと全体が遅くなる



- ・ 同じ50KBを転送するのに、遅い端末が一台いるだけで時間(エアタイム)が5倍くらい無駄になった
- ・ 遅い端末の通信が終わるのを、みんな待っている
- ・ 遅い端末の存在はリソースを食い潰す

電波を遠くまで飛ばしすぎない 遅いレートで通信させない

Data Rates: Best Range Best Throughput Default

1.0Mb/sec	<input type="radio"/> Require	<input type="radio"/> Enable	<input checked="" type="radio"/> Disable
2.0Mb/sec	<input type="radio"/> Require	<input type="radio"/> Enable	<input checked="" type="radio"/> Disable
5.5Mb/sec	<input type="radio"/> Require	<input type="radio"/> Enable	<input checked="" type="radio"/> Disable
11.0Mb/sec	<input type="radio"/> Require	<input type="radio"/> Enable	<input checked="" type="radio"/> Disable
6.0Mb/sec	<input type="radio"/> Require	<input type="radio"/> Enable	<input checked="" type="radio"/> Disable
9.0Mb/sec	<input type="radio"/> Require	<input type="radio"/> Enable	<input checked="" type="radio"/> Disable
12.0Mb/sec	<input type="radio"/> Require	<input type="radio"/> Enable	<input checked="" type="radio"/> Disable
18.0Mb/sec	<input type="radio"/> Require	<input type="radio"/> Enable	<input checked="" type="radio"/> Disable
24.0Mb/sec	<input checked="" type="radio"/> Require	<input type="radio"/> Enable	<input type="radio"/> Disable
36.0Mb/sec	<input type="radio"/> Require	<input checked="" type="radio"/> Enable	<input type="radio"/> Disable
48.0Mb/sec	<input type="radio"/> Require	<input checked="" type="radio"/> Enable	<input type="radio"/> Disable
54.0Mb/sec	<input checked="" type="radio"/> Require	<input type="radio"/> Enable	<input type="radio"/> Disable

MCS Rates:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Enable	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Disable	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Data Rates**

1 Mbps	Disabled
2 Mbps	Disabled
5.5 Mbps	Disabled
6 Mbps	Disabled
9 Mbps	Disabled
11 Mbps	Disabled
12 Mbps	Disabled
18 Mbps	Disabled
24 Mbps	Mandatory
36 Mbps	Supported
48 Mbps	Supported
54 Mbps	Supported

遅いレートをDisableにしてみましよう

OFDMA (Wi-Fi 6)



- 802.11ax(Wi-Fi 6)で導入されたOFDMAでは、ひとつのチャンネル内をいくつかのサブキャリアに分割し、それぞれ異なる端末へ同時に送信可能
- 待たないでよくなるので遅くなりにくい
- ますます高密度化するWi-Fiへの対応

まとめ

- ・ 遅いデータレートで接続している端末は、全体の足を引っ張る
- ・ チャンネル利用率が高くて不安定な場合、遅いデータレートを無効にすることで改善できる可能性がある
 - ・ ただし遅いデータレートを無効にすると電波の届く範囲は狭くなる
- ・ AP に Airtime Fairness (エアタイムをなるべく均等に割り当てる機能)が備わっていればテストのうえ検討を
- ・ 802.11axのOFDMAに期待

実際のAP配置例

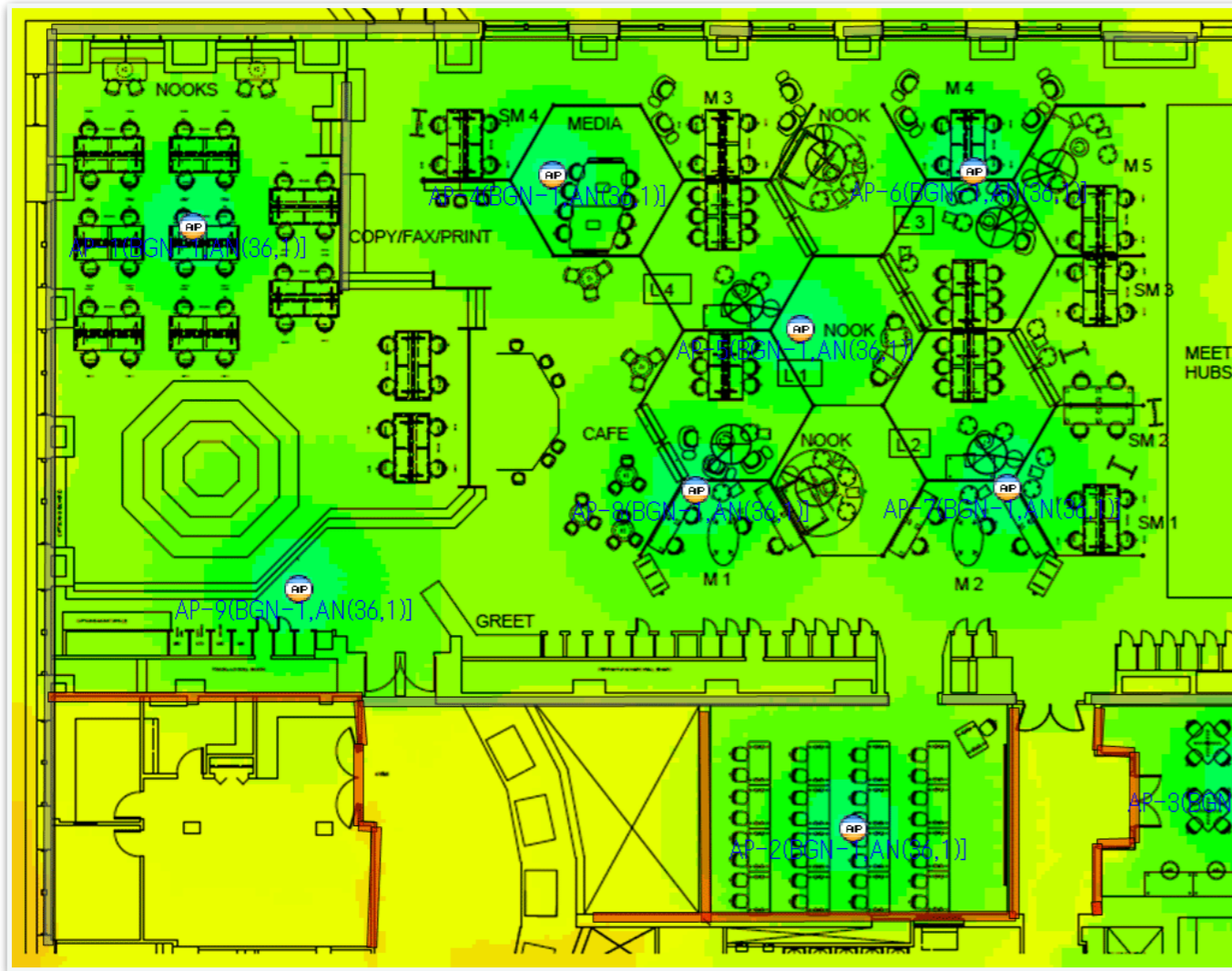
オフィスの例

- 5GHz帯をメインに
- 席数からAP1台当たりの収容数を決める
- チャンネルが不足するのであれば、チャンネルボンディングをせず20MHz幅にしたほうが良い結果が得られることも
- どうしてもDFSを受けたくない場所があればW52から割り当てる
- DFSをの影響を受けやすい方角とチャンネルがあるので、しばらく運用してみてもそのようなチャンネルの利用を除外する

APの配置と収容端末数

AP1台あたり最大でも30端末ほどを
想定

この架空のオフィスの場合、壁など
が少なくセルのサイズを小さくしに
くい。同じチャネルを使う可能性が
あるAP同士が相互に見えるとセルの
結合が起こる



架空の平面図

壁でどれくらい減衰するか実験

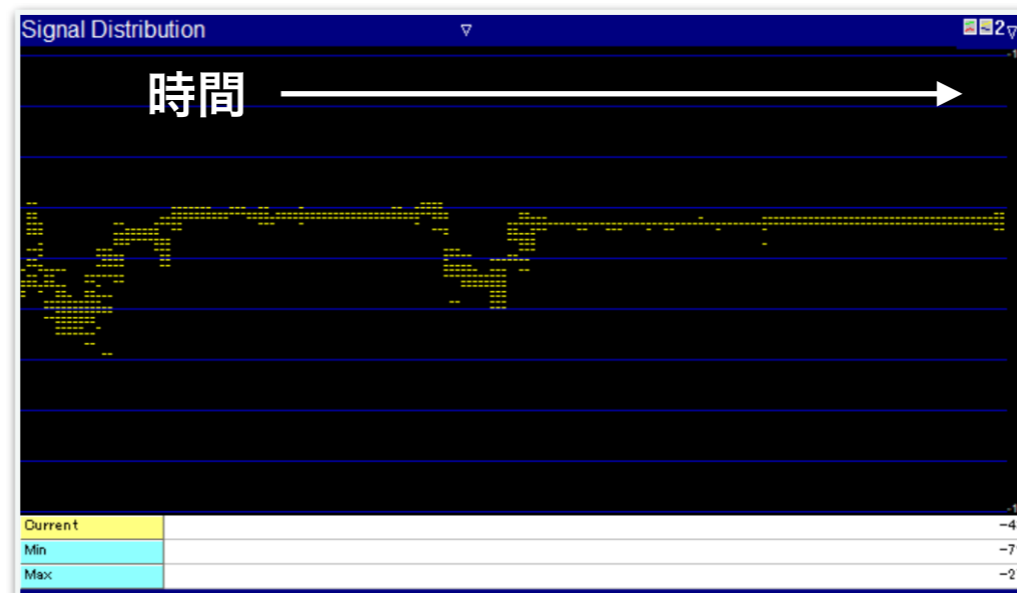


扉



扉を開閉している

かなり重いドア
12dBくらい?



中央の凹みが 中(壁越し)へ運び込んだ瞬間

会議室間の壁
意外、3dB程度

本当はもうちょっと離して測るべき

集中管理コントローラ



コントローラ
(何をしてるの…?)



AP
(コントローラがないと動かない)

1. 設定の一括管理

★これは運用でカバーできるかもしれないが…

2. リソースの一括管理

★チャンネルや送信出力、負荷分散等をAPをまたいで調整するため、
集中管理でない自律APの自動調整機能とは根本的に異なる

★運用でカバーは現実的でない

3. 可視化等の運用支援など

APが5台を超えたら集中管理の検討を… (AP内蔵型コントローラやクラウド型もあるし!)

QandA

Q	一つのAPにどれくらいの端末数を収容できる？
A	チャンネル利用率がボトルネックとすると、多くても40台程度か。端末が多く接続していても、ユーザトラフィックが小さければ80台程度でも問題ないことも。ファイルサーバや高画質な動画などの利用はチャンネル利用率を下げにくく、収容数はさらに減る。802.11axに期待。
Q	チャンネル割当や送信出力は手動で指定するほうがよいか？
A	APが3-4台なら手動でも可能かもしれないが、それ以上になると現実的でないと思う。外来波も変化するため、丁寧にサーベイしてチャンネル割当をしても意味が薄いこともある。どうしても固定したいエリア(気象レーダによるDFSを受けたくない等)のみ手動で指定し、自動割当がよい。運用中に問題が多いチャンネルが見つければ手動で除外や固定をする。運用中に変更されないようなチャンネル幅(20/40/80MHz等)は手動でもよいかも。コントローラは充分に利巧です。

QandA

Q	チャンネルが外来波とどうしてもかぶってしまうが…
A	同じチャンネルに別のAPが見えていても、チャンネル利用率が高くなければインパクトは小さい。外来波のAPのチャンネル利用率が高まると、自営APの通信に衝突する可能性が高まる。逆も同じで、外来波のチャンネル利用率が一定でも自営APのチャンネル利用率が高まると衝突の可能性も高くなる。
Q	設計といっても、まず何から始めたらよいのかさっぱりわからない
A	最初に、端末の密度(1㎡あたり0.5台あたりが高密度かどうかの境界か)、アプリケーション(一般オフィス/動画/セルラーオフロード等)、APの取付可能な位置を調査する。一般的なオフィスなど、端末の密度が高密度とまでいかないケースでは、アプリケーションが必要なスループットを十分に満たせる端末収容数を計算し(端末一台あたり5Mbps 必要、APあたりのスループットが実効300Mbpsであれば $300/5 == 60$ 台、しかし端末が多ければそうもいかないため 2 倍の安全率で 30台 など)、それを満たせる送信出力(APのデータシートに掲載されていることが多い)を想定した距離(20m~等)でAPを配置し、最低限の設定を行えばよいだろう。それより高密度になると急に厳しくなる。 AP同士だけでなく端末が送信する電波でノイズ増大、端末によりチャンネル

トラブルシューティング 測定器で見てみる

どんな測定器がある？



スペクトラムアナライザ

- ✓ 飛んでいる電波そのものを見る
- ✓ WiFi以外の電波も見える
- ⚠ 復号はできない

WiFi アナライザ

- ✓ 電波そのものではなくIEEE802.11 復号後を見る
- ✓ WiFi の中身を詳しく追うことができる
- ⚠ WiFi 以外の電波が干渉源になっていても見えない



どんな測定器がある？

- WiFiアナライザ - WiFiだけを見る
 - ✓ WiFiの中身を詳しく追うことができる
 - ⚠ WiFi以外の電波が干渉源になっていても見えない
- Metageek inSSIDer (Windows, macOS)
- WiFi Analyzer (Android)
 - ✓ 安価 or 無料。アプリをインストールするだけ
 - ⚠ WiFiのビーコンしか見えない 干渉などはわかりにくい
- AirMagnet WiFi Analyzer (Fluke Networks→NetScout Systems)
 - ✓ 中身まで詳しく分析できる
 - ⚠ 高価

どんな測定器がある？

- スペクトラムアナライザ - 電波そのものを見る

- ✓ WiFi 以外の電波も見える

- ✓ 高速

- ⚠ 電波の形をそのままグラフにするだけなので、読み取るのには慣れが必要

- Metageek Wi-Spy+Chanalyzer (Windows)

WiFi用に特化したスペクトラムアナライザ

- ✓ USB接続で小形

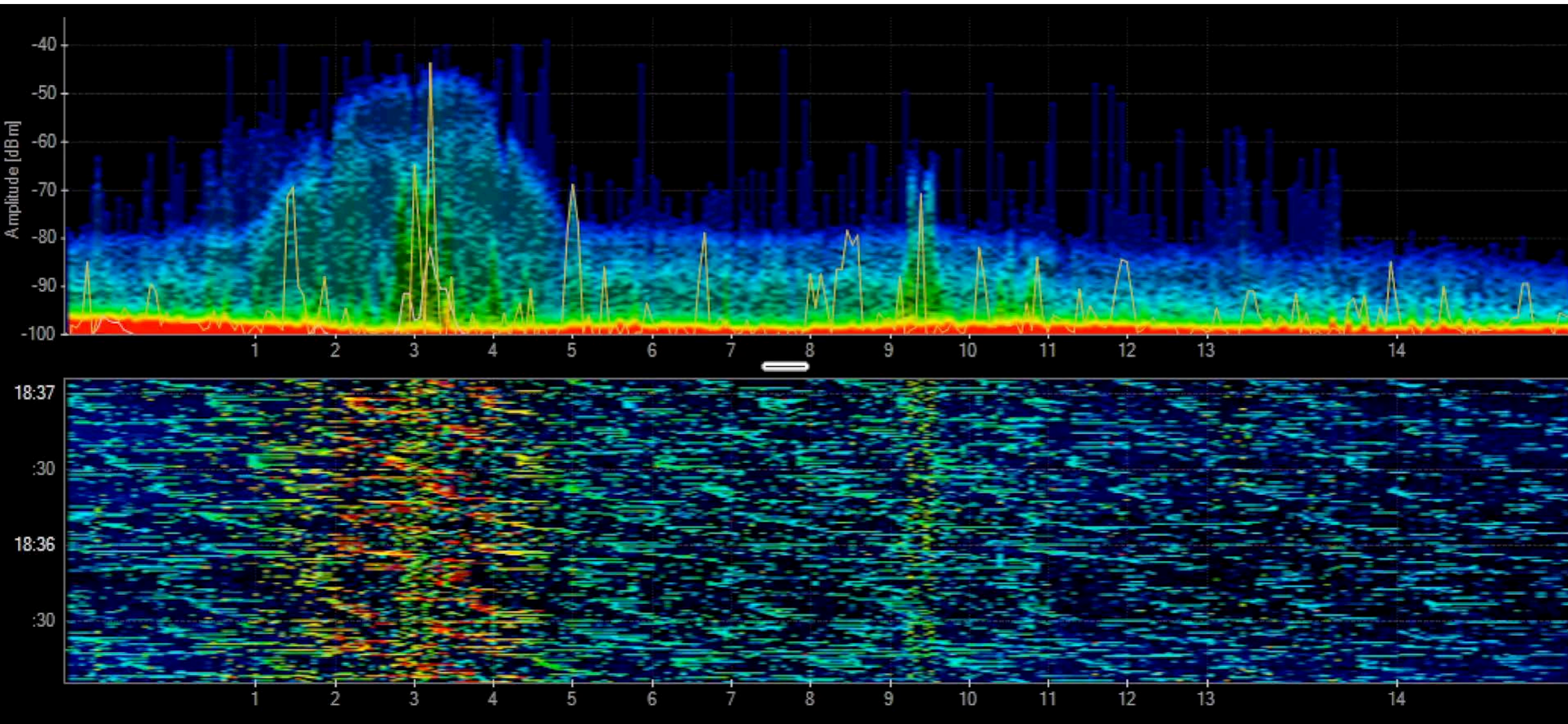
- ✓ 設定項目が少なく扱いやすい

- ✓ WiFi ビーコンをスペクトラムに重ねて表示ができる

- ⚠ 超高価ではないが ご家庭向きの価格とはいえない



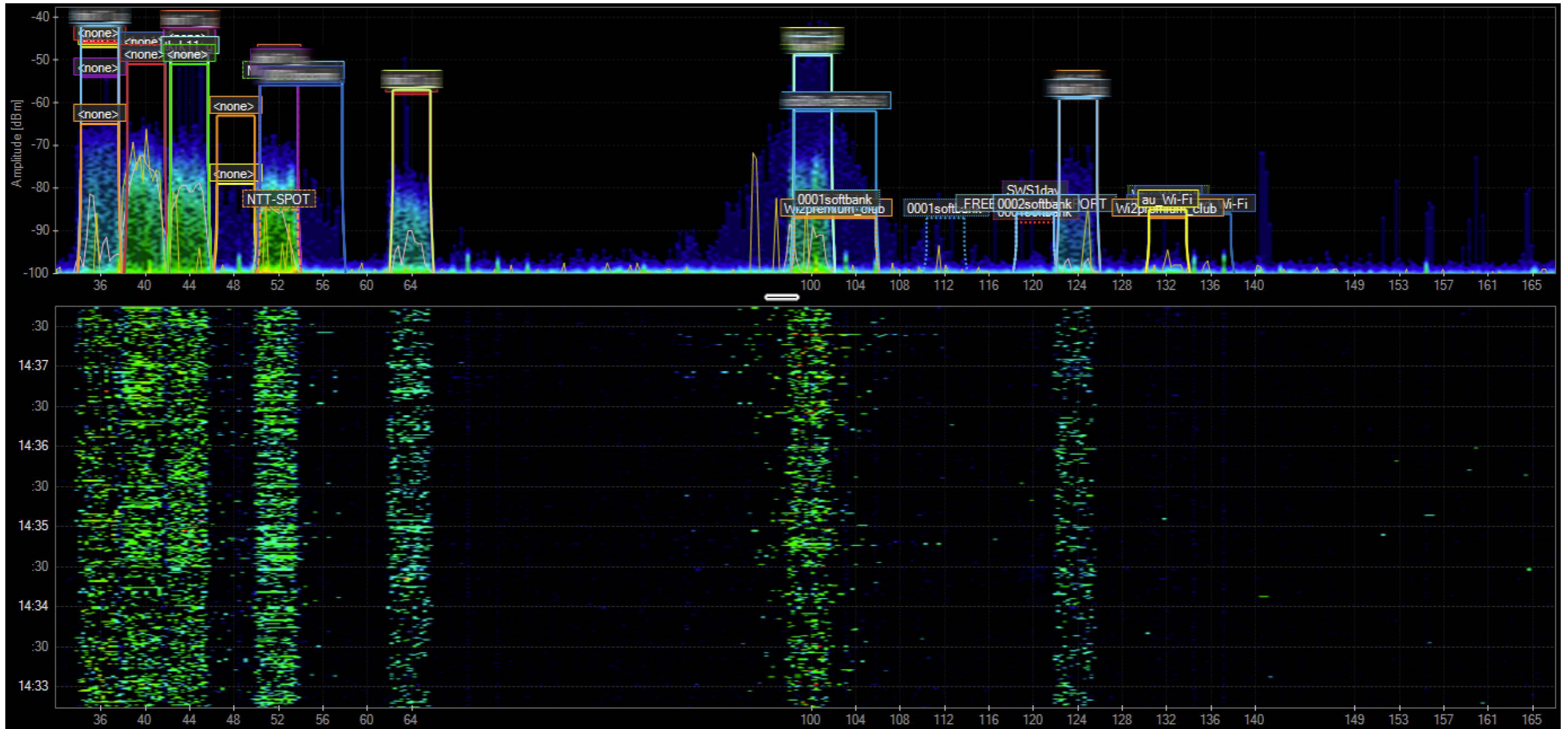
Wi-Spy + Chanalyzer の例



⚠️ 電子レンジのノイズを受けている

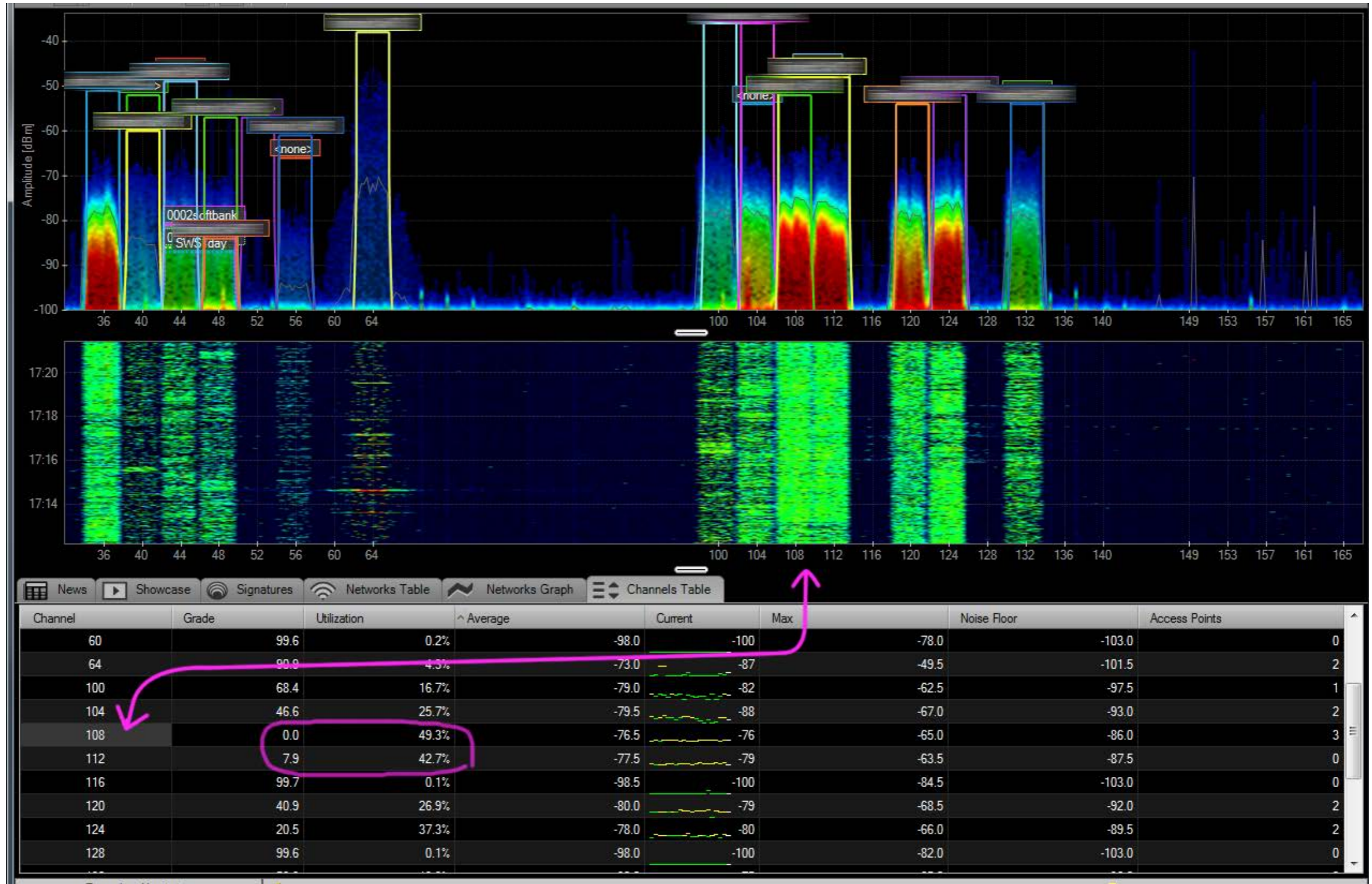
https://www.youtube.com/watch?v=vYj1U_YR0YU

Wi-Spy + Chanalyzer の例



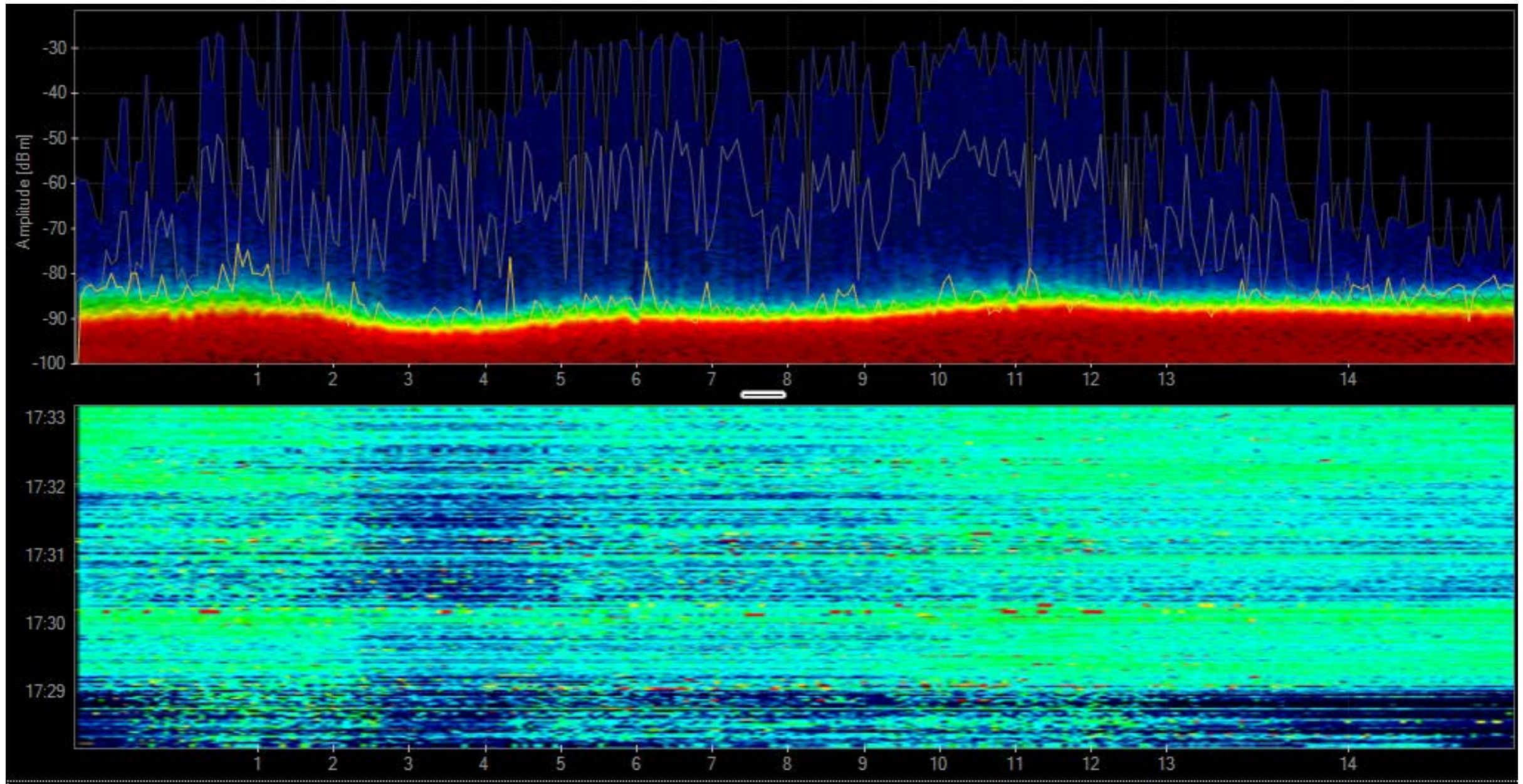
✓ 変なノイズもなく、チャンネル利用率も高くない

Wi-Spy + Chanalyzer の例



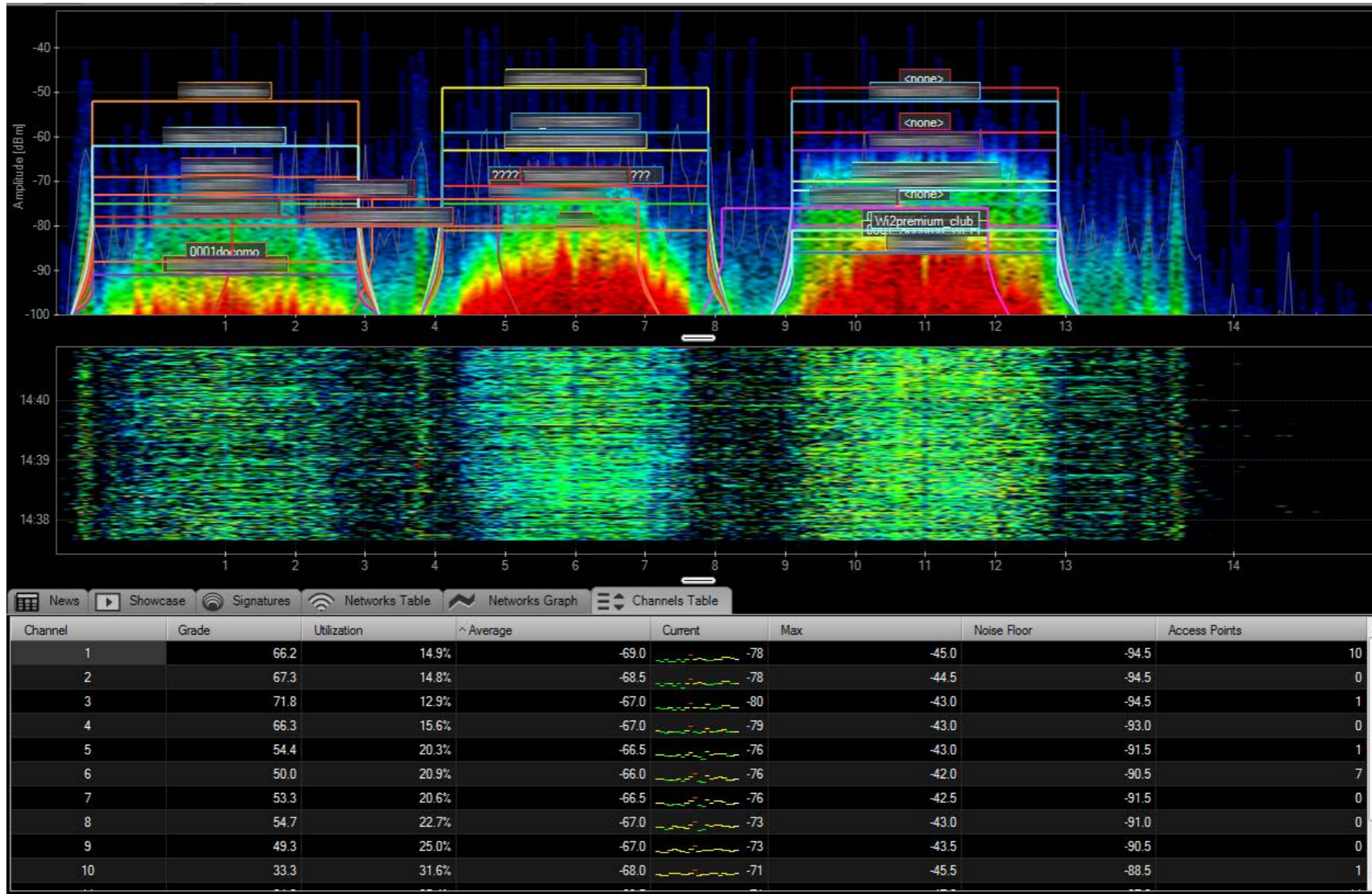
⚠ 108, 112ch のチャンネル利用率が高すぎる

Wi-Spy + Chanalyzer の例



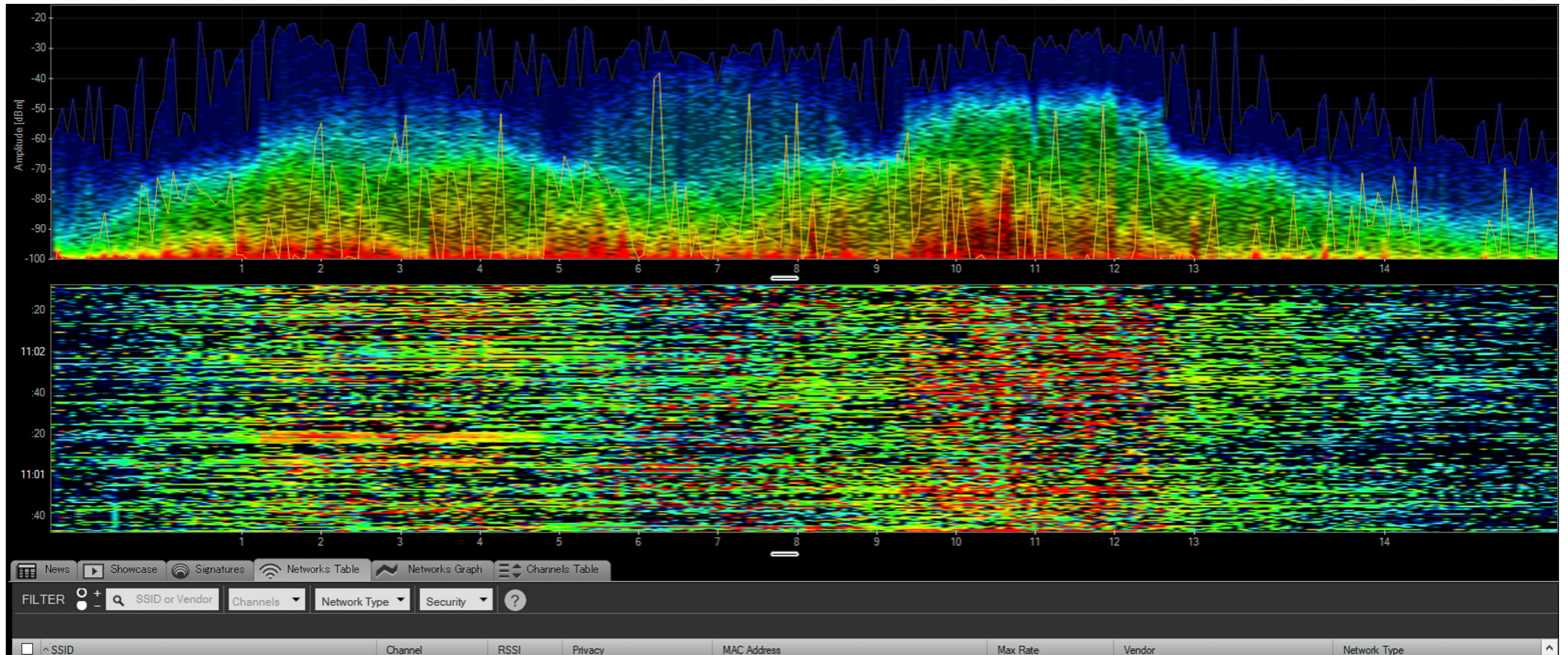
⚠ 2.4GHz帯全域に広がる非WiFiによるノイズ

Wi-Spy + Chanalyzer の例



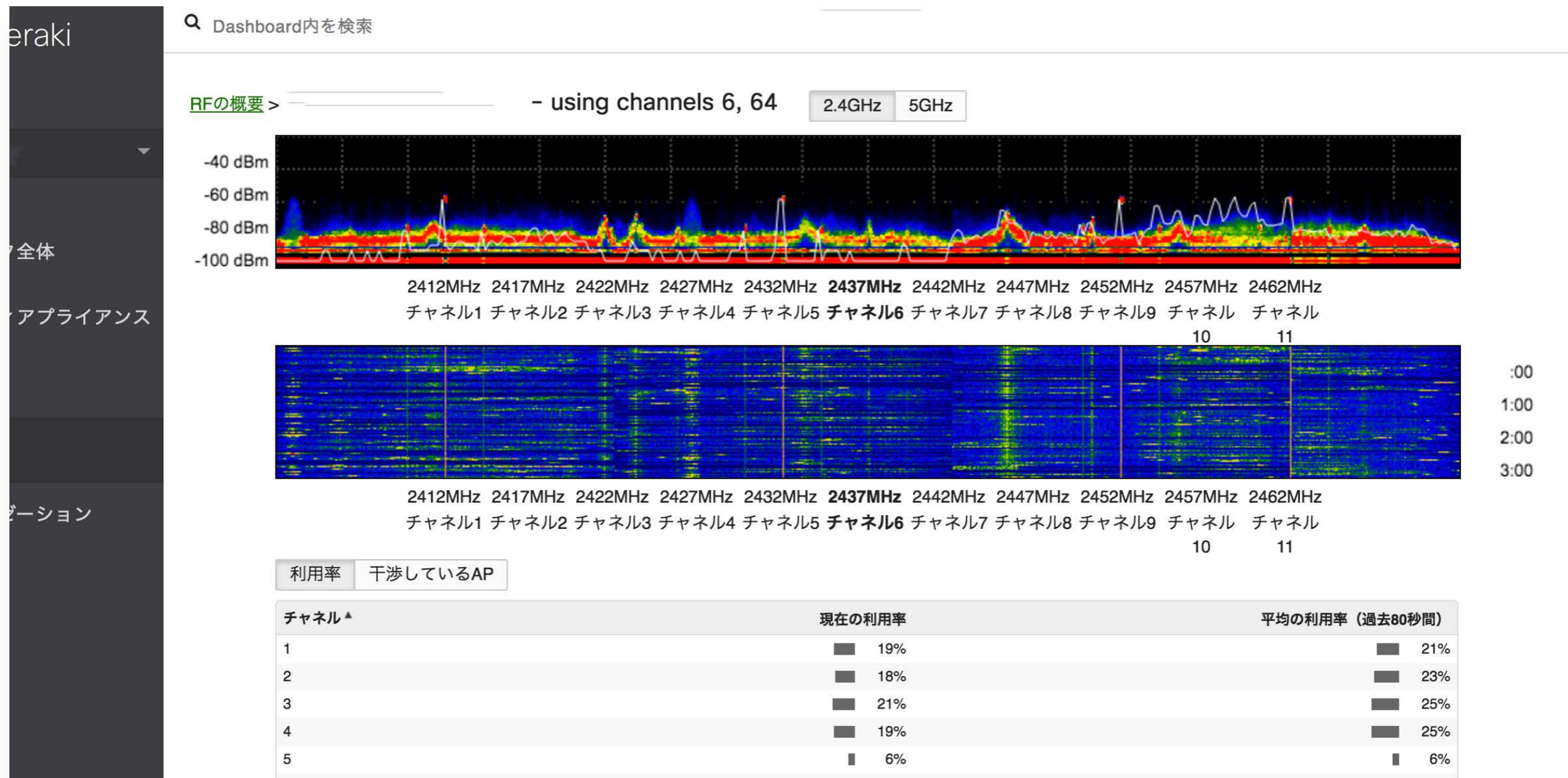
✅ 同一チャンネルに複数のAPがいるが、まだ大丈夫そう

Wi-Spy + Chanalyzer の例



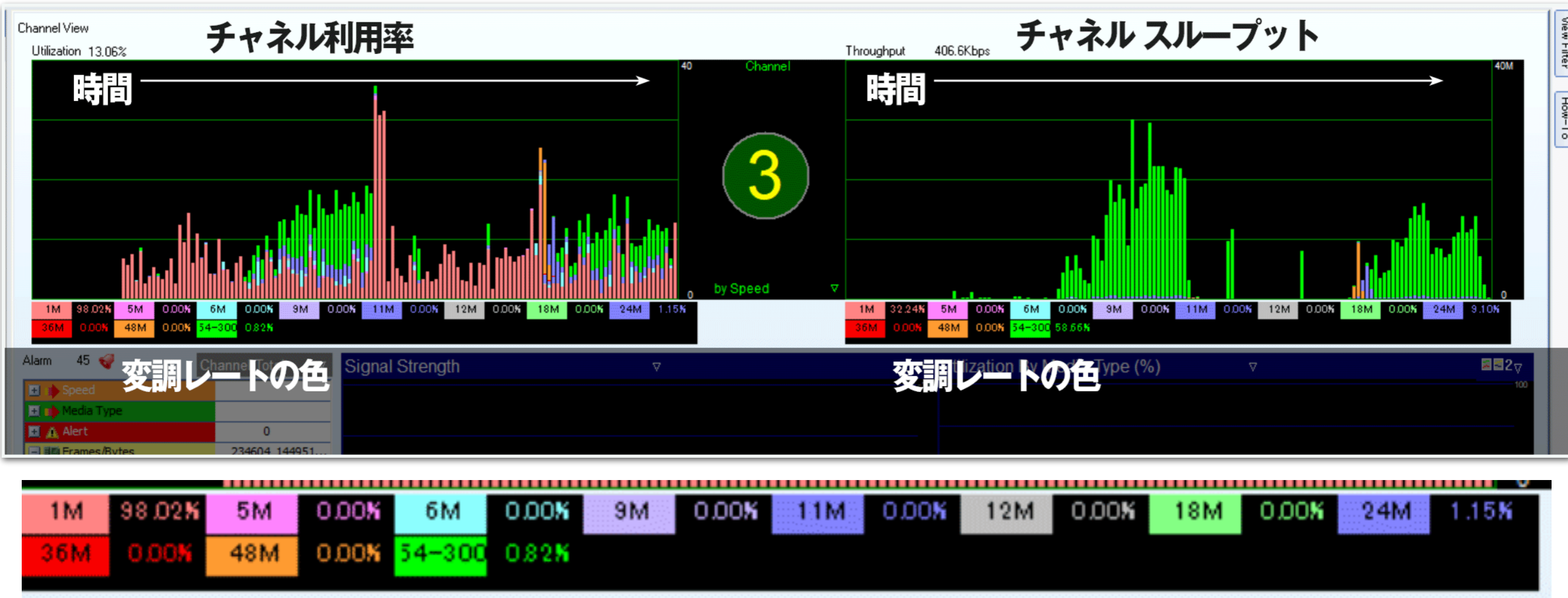
⚠ 2.4GHz帯では適切な間隔をあけて(ch 1, 6, 11 など) チャンネル割当をすべきだが、そうっていない状態

AP 内蔵のスペアナ



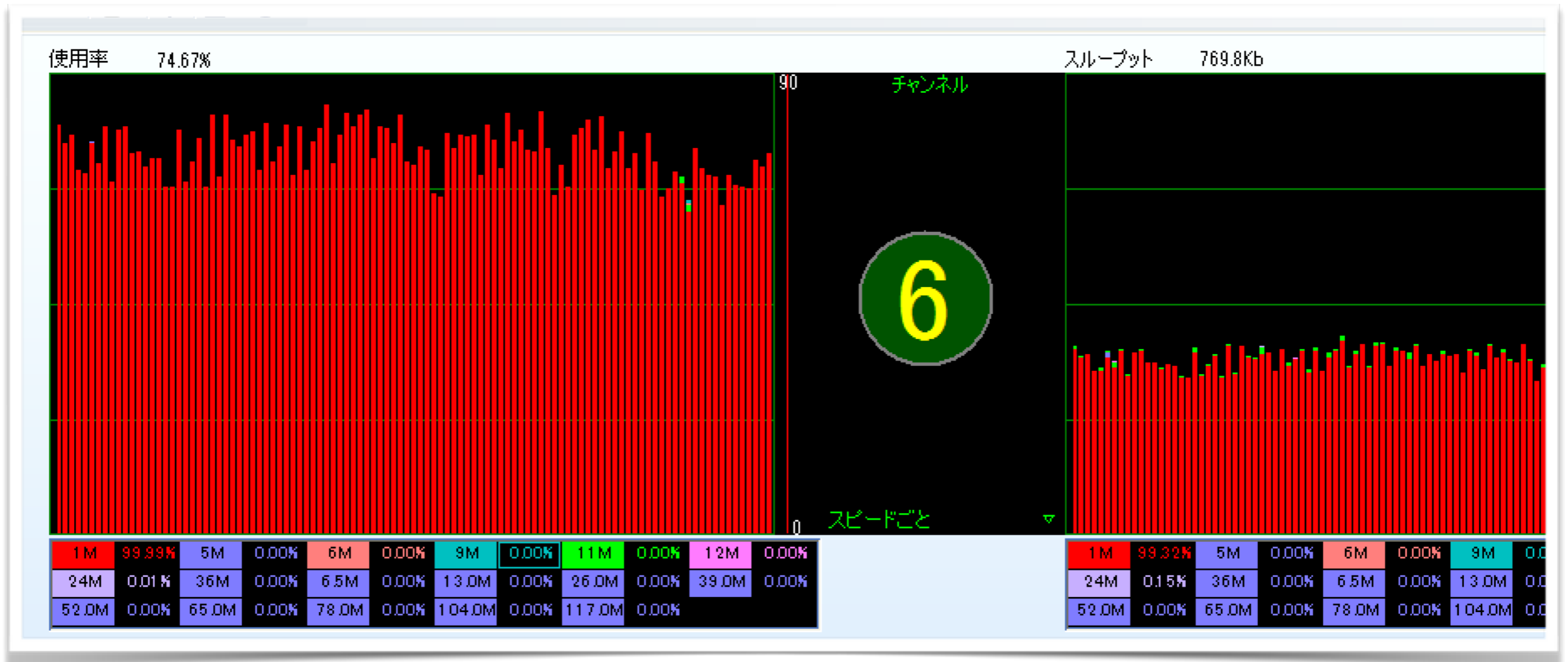
APに内蔵されている機種もある
現地にいなくてもよいので便利

AirMagnet WiFi Analyzer の例



あるチャンネルにおいて、どれくらいの変調レートでどれくらいのエアタイムを占有しているか(左)、その結果のスループット

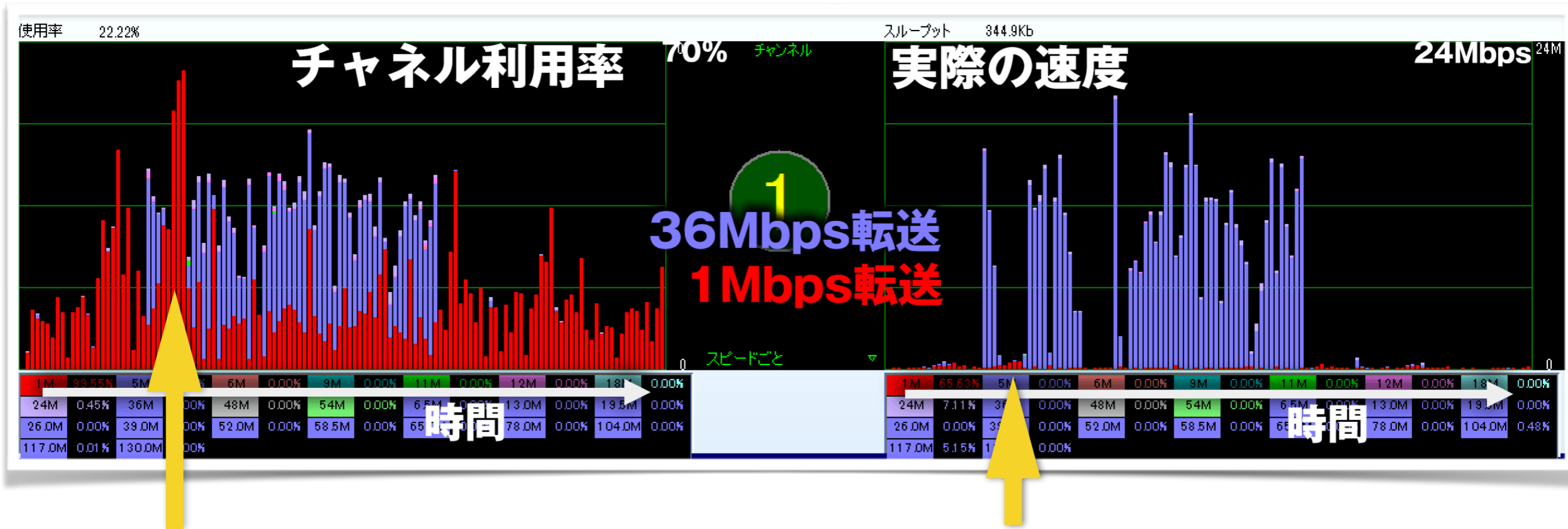
遅い端末がいる状態ってどんなの？



某所 改善前

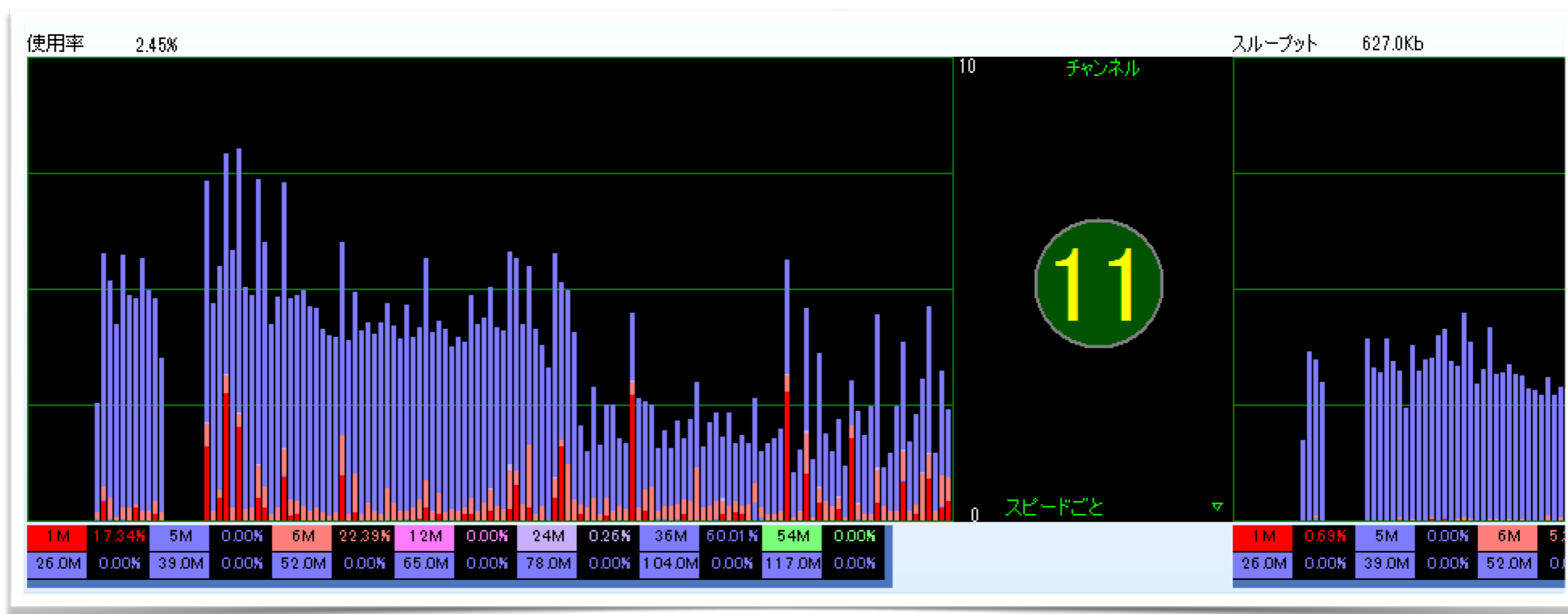
- ・ チャンネルの使用率 74.67% (高すぎる)
- ・ それなのにスループットが769Kbしか出ていない

遅い端末ってどれくらい邪魔？



- 横軸は同じ時間
- 矢印のタイミングで、赤(1Mbps)はチャンネル利用率をすごく上昇させているのに、スループットが全然出ていない

遅いデータレートを禁止するとどうなる？



某所 改善後

- ・ 最低を36Mbpsに設定、それ未満を禁止
- ・ チャンネル使用率を約75%→2.5%まで改善

__END__